

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DOMÉSTICAS PARA USO AGRÍCOLA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGOS EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

Magali Vanessa Estrella Rivera

magali.estrella@epn.edu.ec

Dennis Xavier Pruna Pilatasig

dennis.pruna@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. Eduardo Mauricio Vásquez Falcones, MSC.

eduardo.vasquez@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. Ana Lucía Balarezo Aguilar, MSC.

ana.balarezo@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Magali Vanessa Estrella Rivera y Dennis Xavier Pruna Pilatasig como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnóloga en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo nuestra supervisión:



**Ing. Eduardo Mauricio Vásquez
Falcones, Msc.**

DIRECTOR DEL PROYECTO

**Ing. Ana Lucía Balarezo Aguilar,
PhD.**

CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros Magali Vanessa Estrella Rivera con CI: 171564373-8 y Dennis Xavier Pruna Pilatasig con CI: 172642779-0 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.

Magali Vanessa Estrella Rivera

Dennis Xavier Pruna Pilatasig

DEDICATORIA 1

El presente proyecto se lo dedico especialmente a mis padres y mi familia que han sido un pilar fundamental para alcanzar los objetivos que me he planteado, con su ayuda, disponibilidad y confianza, este camino ha sido más llevadero.

A los docentes Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional, quienes han sabido estar presentes para enseñarme y guiarme en cada una de las asignaturas, cada uno de ellos ha sido un modelo a seguir y conseguir todo lo que me he propuesto con trabajo y responsabilidad.

A mis compañeros y amigos que durante toda la carrera me han brindado el apoyo necesario y han puesto en mí su confianza al realizar cada una de las actividades durante este período de estudios.

A mis amigos inseparables Fabricio y Jazmín, quienes a pesar de estar separados por horarios, trabajos, carreras siempre se han mantenido a mi lado brindándome su apoyo incondicional y que desde que nos conocimos nunca se han alejado, reforzando nuestros lazos de amistad.

Vanessa Estrella R.

AGRADECIMIENTO 1

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres, tías y hermanos que han demostrado comprensión, cariño y apoyo en todo momento durante mi carrera. Cada uno de ellos ha puesto un granito de arena para motivarme y que no decaiga en los momentos difíciles y han sabido ser incondicionales cuando los he necesitado.

A mis amigos Fabricio y Jazmín, que desde que iniciamos nos hemos apoyado y ayudado para seguir adelante, sin su ayuda y su amistad el paso por la universidad no hubiese sido el mismo.

Por último, agradezco a aquellos docentes que supieron enseñarme, formarme e inspirarme ya que han demostrado ser grandes profesionales y como ellos desear aprender y ser su reflejo.

Gracias ESFOT.

Vanessa Estrella R.

DEDICATORIA 2

En primer lugar dedico este proyecto a mis padres, los cuales han estado cada día a mi lado incondicionalmente, dando lo mejor de ellos para que yo siga adelante. A pesar de las adversidades, ellos nunca se han rendido y ha sido mi motivación para que cada día pueda seguir luchando hasta llegar a ser un profesional y hacer sentir orgullosa a mi familia.

A todos mis amigos que creyeron en mí y me apoyaron en cada paso que di hasta culminar mis estudios. Por nuestros buenos y malos momentos, pero siempre juntos alentándonos los unos a los otros.

A la Escuela Politécnica Nacional por abrirme sus puertas y permitirme haber pasado los mejores años de mi vida junto a mis compañeros y docentes de la Escuela de Formación de Tecnólogos.

A todos los docentes que me acompañaron desde nivelación hasta el final de la carrera, ya que fueron la fuente de conocimiento y enseñanza desde el primer día hasta el último en las aulas.

Dennis Pruna

AGRADECIMIENTO 2

En primer lugar quiero agradecerle a Dios por cuidar de mí y de mi familia en los momentos difíciles y en especial durante toda la pandemia, ya que cuando sentía que debía darme por vencido él estaba ahí a mi lado dándome ánimos y fuerzas para seguir adelante.

Agradezco a mis padres y hermanos que sin ellos no hubiese podido seguir en la lucha, mis padres me han dado todo lo necesario a mí y a mis hermanos para que seamos unos buenos profesionales. Mis hermanos que con su amor siempre han estado orgullosos por cada logro que he alcanzado y sé que ustedes lograrán hacer mejores cosas por su bien y el de nuestro hogar.

Finalmente, quiero agradecer a todos mis amigos, compañeros, docentes y todo el personal de la Escuela Politécnica Nacional por permitirme ocupar un lugar en sus corazones, y saber que puedo contar con cada uno de ustedes para lo que necesite.

Dennis Pruna

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	2
1.1	Objetivo general.....	3
1.2	Objetivos específicos	3
1.3	Fundamentos teóricos	4
1.3.1	Sistemas de recolección y evacuación de las aguas residuales	4
1.3.2	Remoción de contaminantes.....	5
1.3.3	Humedales Artificiales para el tratamiento de Aguas Residuales.....	6
1.3.4	Sistema de filtración del agua residual.....	8
1.3.5	Tratamiento previo del agua residual	8
1.3.6	Trampa de grasas.....	8
1.3.7	Remoción de contaminantes en los biofiltros	9
1.3.8	Macrófitas	9
1.3.9	Normativa ecuatoriana.....	12
2	Metodología	13
2.1	Verificación del estado actual de las tuberías de descarga de aguas residuales ..	13
2.2	Separación de tuberías.....	13
2.3	Aforo de caudales.....	14
2.4	Desagüe provisional para la realización del muestreo	14
2.5	Análisis de parámetros necesarios la construcción del sistema	15
2.6	Implementación del sistema de tratamiento de aguas grises.	17
2.6.1	Selección del sitio de implementación.....	17
2.6.2	Trazado de redes en CYPECAD 2016.....	17
2.6.3	Diseño de la trampa de grasas	17
2.6.4	Cálculos para la construcción de la trampa de grasas	19

2.6.5	Diseño del biofiltro	19
2.6.6	Dimensiones del biofiltro.....	20
2.6.7	Selección de Plantas Macrófitas para el Biofiltro.....	23
2.6.8	Costos de la Implementación del sistema	24
2.6.9	Construcción de la trampa de grasas y biofiltro.....	24
2.7	Evaluación final del Sistema	27
2.7.1	Parámetros a analizar	27
2.7.2	Plan de muestreo.....	27
2.7.3	Muestreo.....	31
2.7.4	Medición de parámetros in situ	31
2.7.5	Análisis de parámetros en laboratorio.....	32
3	Resultados y Discusión.....	33
3.1	Verificación del sistema actual de las tuberías.....	33
3.2	Separación de las tuberías	33
3.3	Aforo de caudales.....	34
3.4	Análisis realizados antes de la implementación del sistema	35
3.5	Construcción del biofiltro.....	37
3.5.1	Alternativa uno.....	38
3.5.2	Alternativa dos.....	38
3.6	Resultados de costos de la implementación	39
3.6.1	Costos de la mano obra.....	39
3.6.2	Costos de los materiales de construcción	39
3.6.3	Costos de material filtrante	40
3.6.4	Costo total del proyecto	41
3.7	Análisis de parámetros finales luego del sistema de tratamiento	41
3.7.1	Parámetros que no cumplen con la normativa	45
3.7.2	Parámetros que cumplen con la normativa	46
3.7.3	Metales pesados analizados.....	54

4	Manual de Uso y Mantenimiento.....	55
5	Conclusiones y Recomendaciones	55
5.1	Conclusiones	55
5.2	Recomendaciones	56
6	Referencias Bibliográficas.....	57
7	ANEXOS.....	60
	Anexo 1: Certificado de Funcionamiento.....	i
	Anexo 2: Planos y EsquemaS.....	i
	DISEÑO DE TRAMPA DE GRASAS.....	i
	i
	DISEÑO DEL BIOFILTRO.....	ii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de la vivienda.....	3
Figura 1.2 Humedales de flujo superficial o flujo libre.....	7
Figura 1.3 Humedales de flujo subsuperficial horizontal.....	7
Figura 1.4 Humedales de flujo vertical.....	7
Figura 1.5 Trampa de grasas.....	9
Figura 1.6 Cala (zantedeschia aethiopica).....	10
Figura 1.7 Achira (canna indica).....	10
Figura 1.8 Bambú (bambusoideae).....	11
Figura 1.9 Papiro Enano (Cyperus ssp).....	11
Figura 1.10 Caña común (Arundo donax).....	11
Figura 2.1 Separación de tuberías.....	13
Figura 2.2 Aforo de caudales de las tuberías.....	14
Figura 2.3 Recipiente plástico para recolección.....	15
Figura 2.4 Reconocimiento del terreno.....	25
Figura 2.5 Señalización con niveles.....	25
Figura 2.6 Excavación para la trampa de grasas.....	26
Figura 2.7 Excavación para el biofiltro.....	26
Figura 2.8 Cimentación del terreno y construcción.....	26
Figura 2.9 Trampa de grasas construida.....	27
Figura 2.10 Biofiltro Construido.....	27
Figura 2.11 Tanque recolector antes del sistema.....	28
Figura 2.12 Recipiente recolector al final del sistema.....	29
Figura 3.1 Separación de tuberías en las viviendas.....	34
Figura 3.2 Resultados de los análisis en el laboratorio ABGES.....	36
Figura 3.3 Tubería en la superficie del biofiltro.....	37
Figura 3.4 Lavado del material filtrante.....	38
Figura 3.5 Colocación del material filtrante.....	39
Figura 3.6 Resultados de los análisis en el laboratorio CENTROCESAL. Cía. Ltda.....	42
Figura 3.7 Conductividad inicial y final.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.8 Oxígeno Disuelto inicial y final.....	46
Figura 3.9 DQO inicial y final.....	48

Figura 3.10 DBO ₅ inicial y final	49
Figura 3.11 Coliformes inicial y final	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.12 Cloruros inicial y final.....	51
Figura 3.13 Turbidez inicial y final	52
Figura 3.14 Nitritos inicial y final.....	52
Figura 3.15 Nitratos inicial y final.....	53
Figura 3.16 Aceites y grasas inicial y final.....	54
Figura 3.17 Fosfatos inicial y final	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de calidad del agua para riego agrícola.	16
Tabla 2. Tiempos de retención hidráulica en trampa de grasas	18
Tabla 3. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales	20
Tabla 4. Material del recipiente utilizado con su respectivo parámetro	30
Tabla 5. Registro de agua residual recolectada de las cocinas.....	34
Tabla 6. Parámetros iniciales analizados.....	36
Tabla 7. Costos de mano de obra.....	39
Tabla 8. Costo de materiales	39
Tabla 9. Costos de material filtrante	40
Tabla 10. Costo total del proyecto	41
Tabla 11. Parámetros analizados finales	42
Tabla 12. Comparación de parámetros finales con la normativa vigente	44
Tabla 13. Parámetros que no cumplen con la normativa	45
Tabla 14. Parámetros que cumplen con la normativa	46

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo diseñar y construir un sistema de tratamiento de aguas grises domésticas, que consta de una trampa de grasas y un biofiltro con plantas macrófitas, con el fin de utilizar el efluente para riego de los huertos de las dos viviendas.

En primer lugar, se realizó la verificación de las tuberías de las aguas grises, las mismas que cuentan con descargas separadas de aguas negras, luego, para modelar la separación de las tuberías y se utilizó el programa CYPECAD 2016, con el que se graficó la correcta ubicación y tramos necesarios.

Se realizó el muestreo y el análisis de caracterización de las aguas grises para verificación de parámetros fisicoquímicos y biológicos. Luego, se realizó el aforo en las tuberías para conocer la cantidad diaria de agua a ser tratada, estos datos se emplearon en el diseño y cálculo necesario de materiales para la construcción.

Una vez realizada la construcción, se consiguió plantas macrófitas sobre el material filtrante del biofiltro necesarias para la implementación. Finalmente, se realizó el muestreo y análisis del efluente del biofiltro, para verificar el cumplimiento con la Normativa vigente Ambiental de Calidad de agua para riego agrícola.

PALABRAS CLAVE: biofiltro, aguas grises, riego, macrófitas.

ABSTRACT

The objective of this degree work was to design and build a domestic gray water treatment system, consisting of a grease trap and a biofilter with macrophyte plants, in order to use the effluent for irrigation of the orchards of the two houses. .

In the first place, the verification of the gray water pipes was carried out, the same ones that have separate black water discharges, then, to model the separation of the pipes and the CYPECAD 2016 program was produced, with which the correct location and necessary sections.

The demonstration and characterization analysis of gray water was carried out to verify physicochemical and biological parameters. Then, the capacity was made in the perforations to know the daily amount of water to be treated, these data were used in the design and necessary calculation of materials for construction.

Once the construction was done, macrophytic plants were obtained on the filter material of the biofilter necessary for the implementation. Finally, the examination and analysis of the biofilter effluent was carried out to verify compliance with the Current Environmental Regulations on Water Quality for agricultural irrigation.

KEY WORDS: biofilter, greywater, irrigation, macrophytes.

1 INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la contaminación de los recursos hídricos por el vertimiento de aguas residuales, la escorrentía, el incumplimiento de normativa vigente, la falta de aplicación de sanciones rigurosas y la degradación de los ecosistemas puede afectar a las fuentes de dotación hídricas contaminando las salidas de los pozos, los sistemas hídricos superficiales, que son las fuentes de agua existentes para la dotación principalmente para el consumo humano (CEPAL, 2012), con un consumo promedio de 237(l/h/d) (ENCA, 2016) y actividades agrícolas.

Según la Constitución Ecuatoriana el agua es un derecho fundamental e irrenunciable, en cantidad y calidad suficiente tanto para el consumo humano como para el riego, garantizar la soberanía alimentaria, el caudal ecológico y otras actividades productivas que aseguren una vida digna como prioridad para el ser humano. (Constitución Del Ecuador, 2008).

Uno de los principales problemas existentes es la cantidad de agua que se ocupa para la lavandería y la cocina, esta agua normalmente se mezcla con las aguas negras aumentando los caudales de agua contaminada. Las viviendas en las que se plantea implementar el sistema de tratamiento de aguas grises cuenta con la separación diferenciada de aguas negras y aguas grises, pero no es aprovechada debido a que las aguas se drenan directamente al alcantarillado.

En un país agrícola como el Ecuador, el mayor consumo del agua es cercano al 80%, por otra parte, aproximadamente el 13% es destinado al uso doméstico y el 7% se lo utiliza en la industria. El uso en el riego aumenta el costo de las facturas del agua potable, lo que demuestra que el aprovechamiento de las aguas residuales grises puede ayudar a reducir el consumo de agua mediante la implementación de un sistema de tratamiento para la reutilización en el riego. (ENCA, 2016)

En este proyecto, se plantea el diseño y construcción de un sistema de tratamiento de aguas grises para dos viviendas ubicadas en el Valle de los Chillos, cerca de Distrito Metropolitano de Quito, que cuentan con invernaderos y huertos orgánicos que necesitan riego constante, para lo que se ha estado utilizando el agua potable causando un incremento notable en las planillas de consumo. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



Figura 1.1 Ubicación de las viviendas

Para el diseño de este sistema es necesario un tiempo de retención alto de las aguas grises en el biofiltro. En este caso, se ha propuesto la técnica de trampas de grasa, ya que, es una forma económica y sencilla de eliminar grasas, aceites y material flotante. Se tomará en cuenta la dosis diaria de detergente que será evaluado mediante los parámetros que se analizarán en la muestra de agua en el laboratorio (MIÑO, 2015), que ayudará a tratar el agua para darle un segundo uso.

El agua tratada del sistema de tratamiento servirá para uso del riego en los huertos de las viviendas, cumpliendo con los parámetros establecidos en la normativa vigente: Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental tabla N°3: Criterios de calidad de agua para uso agrícola o de riego y en la tabla N°4 que determina los Parámetros de los Niveles de la Calidad de Agua para Riego. (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015)

1.1 Objetivo general

Implementar un sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises domésticas para uso agrícola.

1.2 Objetivos específicos

- Verificar el estado actual de las conexiones de descarga de aguas residuales de la vivienda en la que se va a implementar el sistema.

- Determinar la cantidad y calidad de aguas grises mediante el aforo de caudales diarios en las viviendas, con la medición en cada punto de descarga y la recolección de muestras para análisis en el laboratorio.
- Implementar el sistema de tratamiento de aguas grises mediante el dimensionamiento de una trampa de grasas y un biofiltro.
- Evaluar el funcionamiento del sistema mediante la caracterización de las aguas grises tratadas.

1.3 Fundamentos teóricos

1.3.1 Sistemas de recolección y evacuación de las aguas residuales

Los Objetivos N°6 del Desarrollo Sostenible propuestos por las Naciones Unidas, es la seguridad hídrica, establece que los gobiernos descentralizados deben desarrollar programas para usar el agua de manera controlada y si es posible la reutilización de las aguas residuales, pero de los 215 GADs Municipales existentes en el Ecuador, 133 realizan tratamientos de las aguas residuales, por otro lado, los 82 restantes no realizan ningún tipo de tratamiento. (INEC, 2016).

El principal problema de la reutilización del agua residual se puede observar en el sistema combinado de alcantarillado de las edificaciones ya que cuentan con un sistema único de recolección de aguas residuales en el que se mezclan aguas grises, aguas negras y aguas de lluvia, las cuales al unirse en un mismo sistema de alcantarillado se contaminan y son más complicadas de realizar un tratamiento.(EPMAPS, 2011).

Se ha tomado como una alternativa la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales ya que estos sistemas tratan naturalmente afluentes contaminados devolviéndolos a la naturaleza con menos carga contaminante, pero es necesario realizar una separación de las aguas residuales. Para realizar un tratamiento biológico es necesario conocer la procedencia ya que todas las aguas residuales no tienen el mismo nivel de contaminación.(Noda, 2017).

Tipo de aguas residuales domésticas

- Aguas residuales: son todas las aguas provenientes de las actividades humanas como viviendas, industria, comercio, entre otras. Las aguas residuales se dividen en dos dependiendo de sus características de procedencia. (Metcalf, 2000)

- Aguas negras: procedentes de los inodoros y urinarios, con contenido de heces fecales y orina, también de duchas y lavabos ya que se desecha contenido orgánico. (Metcalf, 2000)
- Aguas grises: son las aguas procedentes de lavaplatos, lavanderías, lavadoras y lavaderos, estas aguas no tienen carga orgánica, tienen un alto contenido de detergentes y grasas (Quispe, 2018).

Al conocer la procedencia y las características de las aguas residuales se puede determinar qué tipo de tratamiento se les puede dar, al no conocer se puede dar un tratamiento incorrecto al no eliminar los contaminantes en cada tipo de agua (Noda, 2017).

1.3.2 Remoción de contaminantes

Los tratamientos de las aguas residuales, sin importar la procedencia de las mismas, son necesarios para la evacuación segura, por lo tanto, se debe llevar a cabo estos procesos según la normativa vigente teniendo en cuenta el lugar de destino del agua tratada (Noda, 2017). Los análisis preliminares para aplicar el tratamiento dependerán en gran medida del nivel de contaminación, y el porcentaje requerido de eliminación de los mismos, en el caso de los humedales artificiales es necesario la modelación del sistema mediante parámetros analizados previamente. (Metcalf, 2000)

En los humedales se dan varios procesos de fitorremediación que lo realizan las plantas y los microorganismos existentes como son:

- **Fitoextracción o fitoacumulación:** es la capacidad que tienen las plantas para extraer contaminantes y realizar sus funciones con estas sustancias, se incorporan a sus tejidos mediante la absorción y concentración en las hojas, tallos y flores. Se realiza este sistema de fitorremediación con plantas macrófitas capaces de absorber metales pesados, por lo general son plantas con crecimiento muy rápido y partes cosechables. Se utiliza generalmente para remover grasas ya que son compuestos hidrofóbicos.
- **Rizofiltración:** las plantas eliminan del agua los contaminantes por medio de la raíz, por lo general con plantas acuáticas para eliminación de metales mediante la absorción y la acumulación, a medida que crecen, las plantas se cosechan estimulando el crecimiento de nuevos brotes.
- **Rizodegradación:** se refiere a que las plantas que se encuentran en el humedal toman el contaminante por medio de las raíces de las plantas, esto se debe a la actividad microbiana alrededor de los rizomas. Este proceso se da por la presencia de

proteínas, carbono, nutrientes, azúcares procedentes de la materia en descomposición que entra al sistema de tratamiento. También las plantas por medio de las raíces aportan oxígeno que entra a los biofilm por medio de la fotosíntesis a través de las hojas. Es necesario que las plantas que se utilicen tengan un gran sistema de raíces para garantizar la absorción de contaminantes.

- **Fitoestabilización:** es la transformación de los contaminantes por medio de las raíces de las plantas que los inmovilizan en el suelo para realizar la biodegradación, esto se realiza a través de cambios físico-químicos con cambios pH que ayudan a la eliminación.
- **Fitodegradación:** las plantas se encargan de inmovilizar las moléculas y transformarlas en más simples, de esta manera se incorporan a las plantas como parte de sus tejidos, eliminándolos por medio de las hojas o flores al secarse y morir.
- **Fitovolatilización:** es otra forma de eliminar los contaminantes absorbidos de las aguas residuales entrantes al sistema, las plantas llevan los contaminantes a los tallos, hojas, flores y por medio de los estromas, los volatilizan y expulsan a la atmósfera. Este sistema de eliminación se lo utiliza para compuestos orgánicos volátiles como el benceno, nitrobenceno, tolueno, entre otros, son muy útiles en los humedales subsuperficiales que el agua no está en contacto con el ambiente (Cubillos, 2011).

1.3.3 Humedales Artificiales para el tratamiento de Aguas Residuales

Los humedales son ecosistemas naturales vitales para la supervivencia de los seres vivos en el mundo ya que son los entornos muy importantes al ser grandes reservas de agua en los que se desarrollan diversidad de flora y fauna. Estos ecosistemas se han visto amenazados por la contaminación por medio de las aguas residuales que se depositan llegando muchos humedales a morir y con ellos todo su entorno (Ramsar, 2014).

Como alternativa para la conservación de estos santuarios de vida, se han realizado importantes investigaciones desde los años 50 sobre la implementación de humedales artificiales para tratar las aguas residuales y ayudar disminuir o eliminar la contaminación. Las investigaciones las inició la Dra. Käthe Seidel en Alemania, quien realizó estudios con filtros compuestos de varios materiales, llegó a la conclusión de que los filtros de arena y plantas fueron los de mayor eficiencia en los tratamientos de los canales navegables. Este método se llamó Tratamiento Hidrobiológico (Fernández, 2017).

En el Ecuador, se ha implementado esta alternativa de uso de humedales artificiales como en el Lago San Pablo en Otavalo (Galarza & Pérez, 2019), que se ha logrado reducir gran

cantidad de microorganismos, contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual. Para este tipo de tratamientos se tiene varias opciones que se destacan por su bajo costo, fácil funcionamiento y mantenimiento:

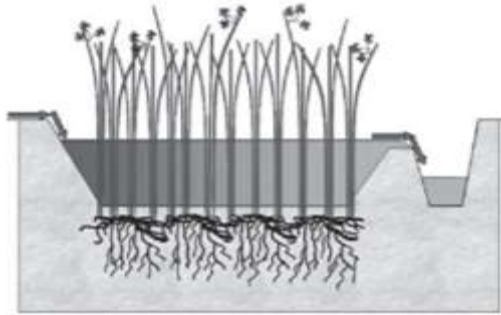


Figura 1.2 Humedales de flujo superficial o flujo libre

- Humedales de flujo superficial o flujo libre: son humedales con agua en la superficie que circula a través de plantas acuáticas, que albergan varias especies de peces, anfibios, entre otras.

- Humedales de flujo subsuperficial: son humedales en los que las plantas y el agua se encuentran al mismo nivel, la característica principal es que las raíces están en contacto directo con el agua a tratar. (Serrano & Corzo Hernández, 2008)

principal es que las raíces están en contacto directo con el agua a tratar. (Serrano & Corzo Hernández, 2008)

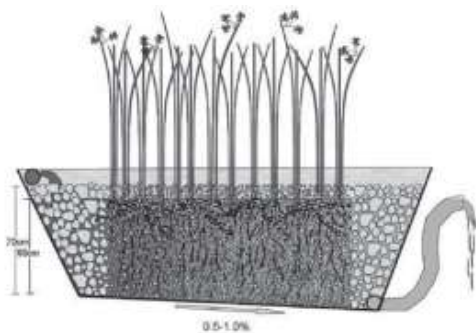


Figura 1.3 Humedales de flujo subsuperficial horizontal

- Humedales de flujo subsuperficial horizontal: estos humedales se caracterizan por tener agua de ingreso permanente a una cama de materiales como arena, piedra o tierra con plantas macrófitas en la superficie, con ingreso y salida por un medio granular más grande y en el centro más pequeño. Se almacena una capacidad de 10 cm aproximadamente, mediante un drenaje adaptado a estas condiciones. (Serrano & Corzo Hernández, 2008)

2008)

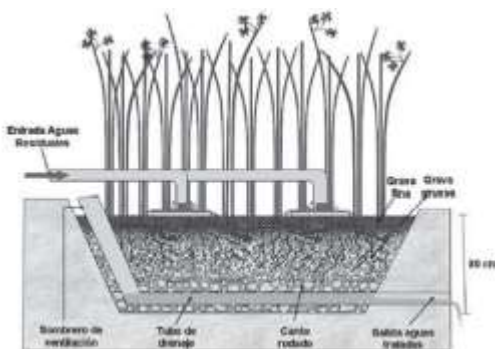


Figura 1.4 Humedales de flujo vertical

- Humedales de flujo vertical: humedales de carga intermitente, reciben el agua de arriba hacia abajo, el material filtrante está compuesto por material filtrante de diferentes diámetros ordenados desde la parte inferior de menor a mayor diámetro llevan en la parte superior plantas macrófitas sembradas en una capa de tierra en donde crecen y absorben los nutrientes de las aguas residuales. (Serrano & Corzo Hernández, 2008)

1.3.4 Sistema de filtración del agua residual

Biofiltro

Los biofiltros son sistemas rellenos con material poroso como el ripio, arena, grava, entre otros, que ayudan a la remoción de contaminantes provenientes de las aguas grises principalmente de lavabos, lavadoras, cocinas, entre otras áreas procedentes de las viviendas. Son conocidos como “biojardinera o lavadero ecológico” ya que contienen plantas macrófitas que ayudan a degradar de manera biológica la materia orgánica mediante los ribosomas con la ayuda de microorganismos presentes en el material filtrante. (Quispe, 2018)

El agua tratada proveniente de un biofiltro lleva menor carga de contaminantes por acción de la degradación biológica, la cual es apta para ser devuelta a un cauce de agua dulce o puede ser utilizada para el riego agrícola. (Quispe, 2018)

1.3.5 Tratamiento previo del agua residual

Para realizar un tratamiento óptimo de las aguas residuales, es necesario realizar un tratamiento previo a la utilización del biofiltro, para eliminar el exceso de sustancias contaminantes como aceites y grasas, sólidos sedimentables, residuos y otros compuestos que afecten a la calidad del agua. La trampa de grasas es un sistema de tratamiento físico que se plantea como solución.

1.3.6 Trampa de grasas

La trampa de grasas es un sistema de separación de los sólidos y grasa por gravedad, este sistema no cuenta con partes mecánicas para su funcionamiento, se basa en la diferencia de densidad entre la grasa y el agua residual de esta manera la grasa flota y los sedimentos se van al fondo del tanque, como se muestra en la **Figura 1.5**. (Contreras, 2015)

Las trampas de grasas pueden ser de diferentes materiales como acero inoxidable, plástico, hormigón o hierro que pueden estar ubicados enterrados, sobre el suelo, dentro de un edificio o en la cocina junto a las tuberías de los fregaderos. Estos sistemas se caracterizan por que funcionan a gravedad ya que los sólidos sedimentables van al fondo del tanque y las grasas a la superficie formando una película densa. (Parra, 2020)

Como se puede ver en la **Figura 1.5**, esta trampa de grasas se divide en dos fases, en la primera se retienen la mayor cantidad de sedimentos y grasas, en la segunda fase, se obtiene agua residual más clara que pasa a través de un orificio que se nivela por el principio de los vasos comunicantes. (Contreras, 2015)

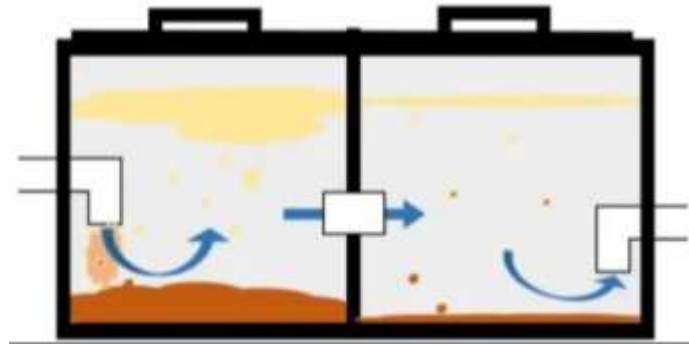


Figura 1.5 Trampa de grasas (Gonzales et al., 2012)

Mediante el desarrollo de la biotecnología, las trampas de grasa han mejorado notablemente en su mantenimiento ya que se ha desarrollado sistemas de limpieza mediante bacterias que degradan las grasas y sedimentos, estas bacterias ayudan al control de olores, a evitar la acumulación en cortos períodos y las limpiezas frecuentes. (Gonzales et al., 2012)

1.3.7 Remoción de contaminantes en los biofiltros

Los biofiltros tienen la característica principal de contener plantas macrófitas en su interior, las raíces de las plantas forman un tejido superior al 60% de ocupación del medio granular. Las plantas macrófitas cumplen con la función de estabilizar la materia orgánica entrante de las aguas residuales, la realizan mediante la transferencia de oxígeno a las zonas de formación de la biopelícula en las cuales se encuentran los microorganismos degradadores y favoreciendo su crecimiento. (Quispe, 2018)

1.3.8 Macrófitas

Las macrófitas son plantas que ayudan a la remoción y eliminación de contaminantes. (Carrión & Cuenca, 2014), forman un extenso sistema de raíces que tiene la capacidad de adherirse al medio granular que están plantadas y a su vez ayudan al crecimiento de una biopelícula en el que forman ambientes aeróbios, en estos ambientes se realizan procesos biológicos que contribuyen a la degradación de la materia orgánica y a la nitrificación. También ayudan al bloqueo de los rayos solares y variaciones de temperatura que pueden afectar a la depuración de las aguas residuales. (Serrano & Corzo Hernández, 2008)

Estas especies aportan al sistema oxígeno para que los procesos microbianos funcionen de manera eficiente. En los biofiltros las macrófitas deben ser abundantes para que consuman una gran cantidad de biomasa para una mayor absorción de contaminantes. Además, las raíces deben llegar a la parte inferior del biofiltro favoreciendo el desarrollo de la biopelícula en todo el sistema, por lo tanto las plantas deben ser propias de la zona o flora local para que su desarrollo sea óptimo. (Serrano & Corzo Hernández, 2008)

Para lograr una mayor eficiencia de remoción es importante conocer que plantas son específicas para los tratamientos de aguas residuales. Generalmente se emplean especies como el carrizo, la espadaña, el papiro, la cala, bambú, entre otras, teniendo en cuenta el tipo de humedal que se desee implementar.(INEC, 2016)

A continuación se describen plantas macrofitas aptas para el sistema:



Figura 1.6 *Cala* (*Zantedeschia aethiopica*)

- **Cala** (*Zantedeschia aethiopica*)

La Cala o cartucho, es una especie acuática que crece en las riberas de los ríos, estanques, lagunas o en suelos que mantengan una humedad permanente (Burguillos, 2020). Esta especie es muy importante ya que ha demostrado la efectividad al reducir parámetros como materia orgánica, DBO₅, DQO, fósforo, nitrógeno y sólidos. (CASTRO LEANDRO et al., 2018) En el tratamiento de aguas residuales, se siembran en diferentes materiales porosos como grava, zeolita, piedra. Las raíces penetran en el material filtrante y absorben los nutrientes que contienen las aguas residuales (Vidal & Hormazábal, 2018).



Figura 1.7 *Achira* (*Canna indica*)

- **Achira** (*Canna indica*)

Planta perenne de fácil adaptación que se encuentra en Sudamérica desde México hasta Chile, alcanza una altura hasta de 3 metros. Se caracteriza por poseer hojas grandes pecioladas de hasta 60 cm, un tallo carnoso y raíces gruesas fibrosas como se puede observar en la (Amagua & Canchig, 2020). Se la puede encontrar desde los 2 700 msnm hasta los 800 msnm en suelos ricos en limo, de textura liviana. Toleran pH de 4.5 a 8, mostrándose su mejor desarrollo en pH de 5.5 a 7. Resisten largos períodos de sequía, el exceso de agua puede causar pudrimiento de la planta, se aconseja el riego bien distribuido (Nassar, 2016).



Figura 1.8 *Bambú*
(*bambusoideae*)

• **Bambú** (*bambusoideae*)

El bambú es una gramínea Bambusoideae, de tallo rígido, forma bosques y es un retenedor de dióxido de carbono y productor de oxígeno. Se destaca por regenerar las aguas residuales transformando los nutrientes y utiliza el exceso de agua para la transpiración, ha registrado una remoción el 96 y el 98% de coliformes fecales y termolantes, reducción del 76% de DBO en un período de 60 días de estudio. (Quinde Tapia, 2014). Crece en lugares con alta humedad cercana al 80%, temperatura entre los 9°C a los 36°C. El pH entre los 5 y 6.5 (Gonzalez, 2020).



Figura 1.9 *Papiro Enano*
(*Cyperus ssp*)

• **Papiro Enano** (*Cyperus ssp*) Fito

Planta de origen asiático-africano, crece en lugares anegados de agua de poca profundidad en ambientes de temperatura media 10°C a 25°C en pH de 6 a 8.5, desde los inicios se ha usado esta especie como solución a la contaminación de las aguas residuales. Ha demostrado eficiencia en remoción de contaminante como el nitrógeno, fósforo soluble, entre otros s, en la absorción de metales, crean un ambiente muy favorable para el desarrollo de los microorganismos protegiendo el biofilm que se forma entre sus raíces (Granados, 2018).



Figura 1.10 *Caña común*
(*Arundo donax*)

• **Caña común** (*Arundo donax*)

Planta de gran crecimiento, invasiva que en muchos casos se ha convertido en problemática a la orilla de ríos, lagos, vertientes y que crece en zonas de gran disponibilidad de agua. Es conocida como acuática emergente. Su altura supera los 6 m y una densidad de 80 cañas/m². Por otro lado favorece a la fauna que habita en su entorno por la facilidad de camuflarla. Oxigena el agua mediante sus raíces profundas, eliminación de sólidos suspendidos y utilizan el exceso de agua para el desarrollo de los tallos (Parrao, 2018).

1.3.9 Normativa ecuatoriana

Los parámetros que se muestran como límite permisible en el la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental tabla N°3: Criterios de calidad de agua para uso agrícola o de riego y en la tabla N°4 que determina los Parámetros de los Niveles de la Calidad de Agua para Riego establecidas en el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1. Se deben respetar como criterio de calidad del agua debido a que la presente norma tiene como objetivo principal “proteger la calidad del agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del medio en general” (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015).

2 METODOLOGÍA

2.1 Verificación del estado actual de las tuberías de descarga de aguas residuales

Una vez realizado el levantamiento de información de los distintos puntos que conforman los sistemas de recolección de agua grises en las viviendas, se escogieron las tuberías de las cocinas de las 2 viviendas ya que se encontraban en total dependencia de los demás sistemas de recolección. Los tramos de tuberías de las cocinas fueron separados del alcantarillado y conectados en un punto de intersección donde se implementó el sistema de tratamiento.

2.2 Separación de tuberías

La casa estaba construida con un sistema combinado de descarga de aguas residuales y esorrentía pluvial, se juntaban las aguas residuales en un solo punto junto con las de lluvia y se mezclaban para luego dirigirse al pozo de revisión ubicado a la entrada de las viviendas. Una vez identificadas cada una de las tuberías de aguas residuales se procedió a realizar la separación necesaria.

Se realizó la separación de las aguas grises de los lavabos de cocinas, de esta manera se aseguró la total independencia de las aguas grises para su posterior tratamiento y reutilización en los fines planteados.

Una vez instaladas las tuberías, se dejaron abiertos varios aparatos sanitarios como: grifos, llaves de distintos puntos de las viviendas a excepción de las cocinas, donde se comprobó que por las tuberías de los lavabos de cocinas no existe otro tipo de conexiones. La **Figura 2.1** muestra los trabajos de separación de las tuberías de aguas grises y negras.



Figura 2.2 Separación de tuberías

2.3 Aforo de caudales

El aforo de caudales en este punto fue necesario ya que no se disponía un caudal suficiente para medirlo con el caudalímetro, de esta manera se pudo obtener datos reales medidos diariamente en diferentes franjas horarias.

Para el aforo de caudales, se colocó un tanque recolector de plástico de capacidad 100 litros al final de la unión entre los 2 tramos de tubería de las cocinas de la vivienda. **Figura 2.3**

La recolección en el tanque se realizó durante 10 días, empezando desde el día 17 de febrero de 2021 hasta el 26 de febrero de 2021. Durante estos días se midió la cantidad de agua recolectada en diferentes horarios durante la mañana, tarde y noche de cada día. En los días entre semana que comprenden de lunes a viernes, los miembros de cada vivienda se encontraban realizando labores domésticas, por lo que el uso de los lavabos de las cocinas era frecuente. Para los fines de semana que comprenden sábado y domingo, los miembros de las viviendas no se encontraban en casa, por lo que el uso de los lavabos de las cocinas disminuía notoriamente.



Figura 2.3 Aforo de caudales de las tuberías

2.4 Desagüe provisional para la realización del muestreo

Terminado el proceso de aforo de caudales, se necesitaba enviar las aguas grises al alcantarillado, para lo cual se instaló un recipiente de 20 litros al final de las nuevas tuberías instaladas **Figura 2.4**. El cubo instalado haría la función de mezclar las aguas de las cocinas para posteriormente recolectar una muestra compuesta y proceder a la medición de parámetros *in situ* necesarios para realizar los cálculos para el dimensionamiento del sistema.



Figura 2.4 Recipiente plástico para recolección

2.5 Análisis de parámetros necesarios la construcción del sistema

Los análisis previos a la implementación del sistema sirvieron para determinar las medidas necesarias con las que se construyeron la trampa de grasas y el biofiltro, además se aseguró que la eliminación de los contaminantes esté dentro de los límites permisibles que exige la normativa vigente para la evacuación de los efluentes tratados en el sistema.

Para realizar los análisis fue necesario revisar los parámetros que exige cumplir el TULSMA, Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1, en la tabla N°3 que determina los Parámetros de los Niveles de la Calidad de Agua para Riego Agrícola.

Para cumplir con los análisis que exige la normativa se realizó en dos partes:

- Se realizó la toma de parámetros *insitu* como son: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto mediante la ayuda de un multiparámetros HORIBA.



- Para aquellos parámetros que se realizaron en el laboratorio, se tomó una muestra de agua, la cual se trasladó con las medidas necesarias de etiquetado y conservación de temperatura entre 4°C y 6°C.

- Para los análisis de DBO, se utilizó ácido sulfúrico para conservación de la muestra en un pH de 2.
- Se tomó una muestra de agua residual para análisis de coliformes en un envase estéril, conservado entre 4°C y 6°C de temperatura en un cooler.

Tabla 1. Criterios de calidad del agua para riego agrícola.

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA			
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Partícula visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/L	5.0
Arsénico	As	mg/L	0.1
Berilio	Be	mg/L	0.1
Boro	B	mg/L	0.75
Cadmio	Cd	mg/L	0.05
Cinc	Zn	mg/L	2.0
Cobalto	Co	mg/L	0.01
Cobre	Cu	mg/L	0.2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100mL	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/L	0.122
Fluor	F	mg/L	1.0
Hierro	Fe	mg/L	5.0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/L	2.5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0.001
Manganeso	Mn	mg/L	0.2
Molibdeno	Mo	mg/L	0.01
Níquel	Ni	mg/L	0.2
Nitritos	NO ₂	mg/L	0.5
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/L	5.0
Selenio	Se	mg/L	0.02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	250
Vanadio	V	mg/L	0.1

(Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015)

2.6 Implementación del sistema de tratamiento de aguas grises.

2.6.1 Selección del sitio de implementación

La selección del sitio de implementación fue muy importante, debido a que se tomó en cuenta varios puntos como:

- Cercanía a las viviendas.
- Que no obstruya el tránsito en la zona de esparcimiento ya que viven niños pequeños.
- Seguridad para los habitantes de la casa.
- Evitar malos olores.
- La existencia de tuberías en la zona de construcción.

Se realizó la inspección del terreno una vez que las tuberías fueron unidas en un solo punto de recolección, este sitio cumplía con las características necesarias ya que se encontraba libre de árboles y vegetación, por lo que el espacio era necesario para la implementación de la trampa de grasas y el biofiltro. Además, la capa de tierra a remover no era dura, por lo que el trabajo se efectuó de una manera rápida.

2.6.2 Trazado de redes en CYPECAD 2016

Para realizar el trazado de redes del sistema de tratamiento de aguas residuales que consta de una trampa de grasas y un biofiltro, se utilizó el programa CYECAD 2016, el cual ayudó a determinar la fontanería y toda la planificación de la obra civil necesaria para la implementación del sistema por medio de la generación de longitudes y ubicación de las tuberías de las viviendas.

Se trabajó sobre un plano de AutoCAD en donde se evidenciaba la estructura de las 2 viviendas y los puntos desde donde se recolectó el agua gris, desde estos 2 puntos se realizaron trayectorias diferentes hasta llegar a un punto de intersección en el cual se seleccionó el sitio en el colocó el sistema de tratamiento.

2.6.3 Diseño de la trampa de grasas

Para realizar el dimensionamiento de la trampa de grasas, se aplicaron las medidas según (Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, 2011)la (OPS/CEPIS, 2005), que recomienda un ancho mínimo de 0.40m para la trampa de grasas para caudales domiciliarios y una relación 2:1 o 3:1 para el tanque recolector de las aguas residuales a tratar.

Para realizar el diseño de la trampa de grasas se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

Cálculo del caudal de diseño.

El caudal de diseño se calculó mediante el aforo de caudales diario procedente de las cocinas, tomando como dato para los cálculos el caudal máximo diario.

Volumen de almacenamiento

Según las recomendaciones de la (OPS/CEPIS, 2005) se recomienda un volumen no menor a 300 L para la trampa de grasas.

Tiempo de retención

El tiempo de retención de este caudal será mínimo de 2 minutos para que garantice la remoción de grasas y minerales (hidrocarburos). (OPS/CEPIS, 2005) **Tabla 2**

Tabla 2. Tiempos de retención hidráulica en trampa de grasas

TRH (Min)	Caudal de entrada
2	1-9
4	10-19
5	20 o más

(OPS/CEPIS, 2005)

Altura de la trampa de grasas

Para la altura del almacenamiento del agua residual se recomienda 0.8m de profundidad. Además, se recomienda una altura de seguridad de 0.30 m para la instalación de las tuberías, también que se necesita que la trampa de grasas tenga una aireación adecuada para evitar olores y un acceso adecuado para la limpieza y el mantenimiento constantes. (OPS/CEPIS, 2005)

Consideraciones

Para la construcción de la trampa de grasas se tomaron en cuenta varias consideraciones que son muy importantes.

- Se debe colocar un recolector o cernidor para los desperdicios que se generan para evitar que se acumulen en la trampa de grasas.
- La trampa de grasa debe tener fácil acceso para su limpieza, para esto se deben establecer períodos en los que se debe realizar trabajos de mantenimiento.

- En ningún caso deben ingresar aguas residuales de los servicios higiénicos.
- Se puede diseñar en cualquier material, ya sea de plástico, metal, ladrillo o concreto, así se garantiza la durabilidad. (OPS/CEPIS, 2005)

2.6.4 Cálculos para la construcción de la trampa de grasas

Para proceder al cálculo de las medidas de la trampa de grasas fue necesario revisar el apartado de diseño de la trampa de grasas debido a que las especificaciones técnicas dieron los parámetros necesarios para la construcción con un volumen de recolección diario máximo.

Cálculo del largo-ancho

Para el largo se tomó la relación 2:1. Se asumió un ancho de 0.5m.

$$L = 2xA$$

Ecuación 2.6-1 Relación largo-ancho. (OPS/CEPIS, 2005)

Donde:

A : 0.5 (m) ancho

L : Largo

Usando la **Ecuación 2.6-1** obtiene:

$$L = 1m$$

2.6.5 Diseño del biofiltro

El diseño del biofiltro se elaboró según la serie técnica de Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales (Delgadillo, 2010), en el que se observó que se puede diseñar el biofiltro en base a la DBO₅, ya que es el principal indicador de contaminación. Este diseño ayudará a reducir los parámetros necesarios para obtener agua de riego agrícola según la norma en la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental tabla N°3: Criterios de calidad de agua para uso agrícola o de riego y en la tabla N°4 que determina los Parámetros de los Niveles de la Calidad de Agua para Riego establecidas en el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1. (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015)

Para el área superficial se tomó en cuenta la temperatura mediante la constante de reacción de primer orden, la DBO₅ inicial y deseada, la porosidad del material granulado que se colocó como material filtrante.

La porosidad detallada que se muestra a continuación en la **Tabla 3**, según (Delgadillo, 2010) indica varios materiales que habitualmente se utilizan como medio filtrante, como la arena fina o gruesa, grava de diferentes medidas. Cada uno de estos materiales tiene una porosidad distinta y la capacidad de retener y filtrar los contaminantes del agua residual determinando el tiempo de retención hidráulica en el biofiltro.

Tabla 3. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales

Tipo de material	Tamaño efectivo d(mm)	Conductividad hidráulica, ks (m ³ /m ² /d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100-1000	28-32
Arena gravosa	8	500-5000	30-35
Grava fina	16	1000-10000	35-38
Grava media	32	10000-50000	36-40
Roca gruesa	128	50000-250000	38-45

(Delgadillo, 2010)

Tiempo de retención hidráulica del biofiltro

Al realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento de la biofiltro, se tomaron en cuenta las recomendaciones en el tiempo de retención hidráulico, según Delgadillo, (2010) recomienda un tiempo mínimo de retención de 4 días y máximo de 15 días para garantizar que el diseño sea efectivo y se pueda conseguir la reducción de los parámetros iniciales.

2.6.6 Dimensiones del biofiltro

Para el diseño del biofiltro fueron necesarios los parámetros medidos anteriormente ya que se debe tomar en cuenta el estado del afluente de entrada y los resultados se desea obtener luego del tratamiento.

Se procede a calcular:

Constante de reacción de primer orden (Kt)

$$Kt = 1.104 * 1.06^{T2-20}$$

Ecuación 2.6-2 Constante de reacción de primer orden (Delgadillo et al., 2010)

Donde:

Kt : Constante de reacción de primer orden

T_2 : (22.3) Temperatura

Usando la **Ecuación 2.6-2** se obtiene:

$$Kt = 1.26d^{-1}$$

Área superficial (as)

$$AS = \frac{Q * Ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{Kt * h * n}$$

Ecuación 2.6-3 Área superficial (Delgadillo et al., 2010)

Donde:

Q : 0.30 (m³/d) Caudal

Ln : Logaritmo natural

C_0 : 700 (mg/l) Concentración DBO₅ inicial

C : 20 (mg/l) Concentración de la DBO₅ final o deseada

Kt : 1.26 d⁻¹ Constante de reacción de primer orden dependiendo de la temperatura

h : 1 (m) profundidad

n : $\frac{38}{100}$ (%) porosidad del medio granular

Usando la **Ecuación 2.6-3** se obtiene:

$$AS = 2.2m^2$$

Área vertical (AC)

$$Ac = \frac{Q}{Ks * S}$$

Ecuación 2.6-4 Área vertical (Delgadillo et al., 2010)

Donde:

Q : $3.5 \cdot 10^{-6}$ (m³/s) Caudal

K_s : $1.15 \cdot 10^{-3}$ (m/s) Conductividad hidráulica (arena gruesa)

S : 0.005 Pendiente

Ac : Área vertical

Usando la **Ecuación 2.6-4** se obtiene:

$$Ac = 0.608m^2$$

Ancho (W)

Para calcular el ancho del humedal se asume un valor de altura deseado para la biofiltro, en este caso de 0.6m.

$$W = \frac{Ac}{h}$$

Ecuación 2.6-5 Ancho del biofiltro (Delgadillo et al., 2010)

Donde:

Ac : 0.608 (m²) área vertical

h : 0.6 (m) profundidad

W : Ancho

Usando la **Ecuación 2.6-5** se obtiene:

$$W = 1.01m = 1m$$

Relación largo-ancho 2:1

Para el largo del humedal hace una relación largo-ancho 2 a 1.

$$L = 2xA$$

Ecuación 2.6-6 Relación largo-ancho (Delgadillo et al., 2010)

Donde:

L : Largo

A : 1 (m) ancho

Usando la **Ecuación 2.6-6** se obtiene:

$$L = 2m$$

Tiempo de retención hidráulico

$$THR = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 2.6-7 Tiempo de retención hidráulico (Delgadillo et al., 2010)

V : 1 (m³) volumen

Q : 0.3 (m³/d) Caudal

THR : Tiempo de retención hidráulico

Usando la **Ecuación 2.6-7** se obtiene:

$$THR = 3.33d$$

2.6.7 Selección de Plantas Macrófitas para el Biofiltro

Según (Granados, 2018) varias plantas macrófitas se utilizan para el tratamiento de aguas residuales, entre ellas el papiro, la caña, el carrizo, la totora, la lenteja de agua, lirio de agua entre otras. Para la implementación del biofiltro fue necesario de que las especies seleccionadas sean macrófitas enraizadas emergentes ya que se sembraron en una capa de tierra que cubre el material filtrante.

Se eligió la cala o cartucho, la achira y el bambú debido a que son especies procedentes de los jardines existentes en los terrenos próximos a las viviendas y han estado adaptados a las condiciones climáticas del sector. Por otra parte, el papiro enano se compró en un vivero cercano a la zona debido a la alta absorción de contaminantes que detalla la bibliografía y la capacidad de formación de rizomas en el material filtrante al igual que las demás plantas seleccionadas.

Se descartaron plantas como el carrizo y el papiro común por el crecimiento excesivo ya que se desea que el biofiltro sea un lugar para adornar la zona donde se encuentra ubicado.

2.6.8 Costos de la Implementación del sistema

Una vez realizados los cálculos y la posterior implementación fue necesario conocer los costos que se emplearon en la elaboración de la trampa de grasas y el biofiltro. Para tener una estimación de costos fue necesario el asesoramiento de un constructor, recomendó la utilización de ladrillo ya que es un material que no se rompe fácilmente como el bloque debido a que los bloques acumulan agua y sales. El sistema al recibir el agua de las cocinas que contiene sodio debilitaría la estructura agrietándola.

Se realizó una proforma sobre los costos de cada material a utilizarse en la construcción. Se acudió a 3 lugares diferentes en donde se detallaron precios de cada material previsto para la construcción del sistema y se agregó el costo del transporte hasta el domicilio. Por ejemplo, estos son algunos de los materiales que se utilizaron para la construcción: arena, ripio, cemento, ladrillos, entre otros. Luego de haber analizado las 3 proformas se escogió la que tenía un costo más económico para la realización de este trabajo.

Se tomaron en cuenta los siguientes costos para la implementación:

- Mano de obra: se contrató un maestro de obra y un ayudante, la construcción se realizó en una semana, además se realizó una inspección luego de que la construcción ha secado para conectar las tuberías.
- Accesorios: se realizó una medición de todas las tuberías, codos, “Y” y “T” necesarios para la implementación del sistema. Varios se colocaron durante la construcción como el drenaje y otros al finalizar cuando el cemento ya había secado.
- Relleno de material filtrante: para rellenar el biofiltro fue necesario seleccionar las dimensiones de cada uno de los materiales y evaluar la cantidad de materiales que se necesitan para rellenar todo el biofiltro.
- Plantas macrófitas: se revisó según la bibliografía descrita anteriormente cuáles plantas se podían sembrar, las mismas que se obtuvieron del jardín de las viviendas a excepción del papiro enano que se adquirió en un vivero cercano.

2.6.9 Construcción de la trampa de grasas y biofiltro

Para empezar la construcción del sistema de tratamiento fue necesario revisar las especificaciones técnicas como distancia que se debía dejar entre la construcción y una tubería, la distancia con los árboles y tomar en cuenta que el biofiltro necesita de sol para que las plantas puedan realizar la fotosíntesis y todos los procesos de fitorremediación mencionados en la teoría. Para la construcción se procedió de la siguiente manera:

Luego de efectuar la separación de las líneas de conducción de las aguas grises de las cocinas del resto de las casas, se procedió a delimitar la zona para la construcción de la trampa de grasas y biofiltro. Se procedió a cavar pero se encontró la tubería de aguas lluvia a 0.30 m de profundidad lo que obligó a trasladar el proyecto 1.5m más abajo del lugar seleccionado, respetando las normas técnicas de construcción (OPS/CEPIS, 2005) en la que recomienda una separación mínima de 0.15 m de una tubería existente. **Figura 2.5**



Figura 2.5 Reconocimiento del terreno

A partir de la nueva ubicación, se procedió a realizar la señalización necesaria para fijar los niveles a los que debe estar la tubería. **Figura 2.6**



Figura 2.6 Señalización con niveles

Se excavó el terreno en el lugar seleccionado, la excavación se la realizó con la ayuda de un pico y un azadón hasta lograr la profundidad deseada. **Figura 2.7, Figura 2.8**



Figura 2.7 Excavación para la trampa de grasas



Figura 2.8 Excavación para el biofiltro

Luego de la excavación, se llevó a cabo el fundido del suelo con materiales como ripio, piedra, arena y cemento para asegurar la firmeza del suelo que se dejó secar durante 24 horas para continuar con el levantamiento de las paredes de cada una de las estructuras. **Figura 2.9**



Figura 2.9 Cimentación del terreno y construcción

Al terminar la construcción del sistema de tratamiento, se dejó que se seque durante 4 días antes de proceder a conectar el agua y rellenar con el material filtrante, de esta manera se aseguró que el cemento se seque y sea una estructura segura, para que el agua no se filtre por las paredes y no acumule sales que debilitan el concreto. **Figura 2.10, Figura 2.11**



Figura 2.10 Trampa de grasas construida



Figura 2.11 Biofiltro Construido

2.7 Evaluación final del Sistema

2.7.1 Parámetros a analizar

Para realizar este procedimiento fue necesario la elaboración de un plan de muestreo en el cual se tomó en cuenta cada uno de los pasos necesarios para la toma, conservación, transporte y entrega de las muestras tomadas desde el punto de muestreo hasta el laboratorio en el cual se realizaron los análisis necesarios.

Se realizó varios análisis como: aceites y grasas, coliformes, DBO₅, DQO, nitrógeno total, fósforos totales y sólidos, entre otros. Los análisis iniciales garantizarían la utilización de estas aguas grises para su posterior uso en riego agrícola. Cada uno de estos parámetros se encuentra establecidos en las leyes y normativas vigentes.

2.7.2 Plan de muestreo

El objetivo del muestreo de aguas grises fue la toma de muestras, obtenidas en el punto de recolección en el que se unen las tuberías de los lavabos de las cocinas, para los análisis que exige la normativa vigente.

Procedimiento para la toma de muestras

Para la toma de muestras fue necesario realizar los siguientes pasos:

- Se prepararon los envases para la toma de muestras.
- Se elaboraron las hojas de la cadena de custodia.
- Se dispusieron los diferentes equipos y materiales para la toma de parámetros *in situ*
- Se acondicionaron los equipos de muestreo como GPS, guantes, cámaras fotográficas, *coolers*, entre otros.
- Se organizó la logística para el muestreo.

Selección del punto de muestreo

- Comprobación de caudales: Antes de realizar el muestreo de aguas grises se procedió a comprobar que los caudales a recolectar fuesen únicamente de los puntos seleccionados, los cuales correspondían a los lavabos de las cocinas existentes.

- Punto de muestreo (antes del sistema): se realizó en un tanque recolector dónde llegaban todas las aguas procedentes de los lavabos de las cocinas colocado en la unión de las dos tuberías, esto facilitó para recolección de las muestras y la toma de parámetros *in situ*. **Figura 2.12**



Figura 2.12 Tanque recolector antes del sistema

• Punto de muestreo (parámetros salida del agua residual tratada): Para recolectar la muestra del efluente del sistema de tratamiento, fue necesario la limpieza del tubo de salida para que la muestra no se contamine, esto se realizó ya que la tubería estaba expuesta al ambiente y cerca de la tierra. **Figura 2.13**



Figura 2.13 Recipiente recolector al final del sistema

Materiales para el muestreo

- Geoposicionador o GPS.
- Equipos para medición de parámetros in situ.
- Balde plástico para recolección de muestras compuestas y homogenización del cuerpo hídrico.
- Envases necesarios para la recolección de la muestra dependiendo del análisis a realizar.
- Cinta para identificación de muestras.
- Rotulador permanente.
- *Cooler* con hielo para conservación y transporte de la muestra.

Equipo de protección personal

- Overol o mandil
- Guantes
- Mascarilla
- Gafas de protección
- Botas de goma

Recipientes para toma de muestras

Según la norma NTE INEN 2 169 para el análisis de trazas de los constituyentes químicos de agua residual los recipientes se debían lavar con detergente y posteriormente con agua

destilada o des ionizada. Las muestras para análisis bacteriológico se tomaron en un envase de boro silicato o polipropileno, esterilizados en autoclave, tapa roscada y de boca ancha para evitar el contacto con el recipiente. Para las muestras biológicas (DBO) se utilizó un envase de vidrio neutro. (AGROCALIDAD, 2018).

A continuación, **Tabla 4**, se muestra el material del recipiente utilizado con su respectivo parámetro:

Tabla 4.Material del recipiente utilizado con su respectivo parámetro

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen (ml)	Preservación	Tiempo de Preservación
DQO	Plástico o Vidrio		Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄	1 mes
DBO₅	Plástico o Vidrio	1 000 Llenado sin aire	Se enfría a 1 °C y 5 °C	24 horas
Coliformes Fecales	Plástico Esterilizado			
Aceites y Grasas	Vidrio lavado con solvente	1 000	Acidificar a pH 1 a 2 con HCl o H ₂ SO ₄	1 mes
Nitratos	Plástico o Vidrio	250	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	24 horas
Nitritos	Plástico o Vidrio	200	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	24 horas
Nitrógeno Kjeldahl	Plástico o Vidrio	250		
SAAM	Plástico o vidrio	1 000		
Oxígeno Disuelto	Plástico o Vidrio			
pH	Plástico o Vidrio	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	6 horas

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen (ml)	Preservación	Tiempo de Preservación
Turbidez	Plástico o Vidrio	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	
Temperatura	Plástico o Vidrio	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	
Conductividad	Plástico o Vidrio	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	

(AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS, 2013)

Etiquetado de la muestra

Se anotó el nombre del muestreador, fecha, hora, lugar y tipo de preservante que se colocó en cada una de las muestras tomadas.

Preservación de la muestra

Se preservó la muestra en un *cooler* con hielo a una temperatura de 2°C a 4°C para evitar la variación de las características propias de la muestra.

Transporte y entrega de la muestra en el laboratorio

Posterior a la recolección y preservación de la muestra, se llevó las muestras al laboratorio en el que se realizaron los análisis necesarios.

2.7.3 Muestreo

El muestreo se lo realizó en horas de la mañana debido a que el clima en el sector del Valle de los Chillos es variable, por lo tanto se podían presentar lluvias inesperadas que afectarían a la muestra y al personal que realizó el muestreo. Se procedió a equiparse de la vestimenta adecuada para evitar cualquier tipo de accidente en el campo.

Se utilizó el GPS para el registro de coordenadas del punto real del muestreo. Se homogenizó el recipiente de la muestra para poder medir los parámetros *in situ* con la ayuda del multiparámetros HORIBA. Se tomó varias muestras, la primera para el análisis bacteriológico, la segunda para el análisis biológico y la última para los análisis fisicoquímicos.

2.7.4 Medición de parámetros in situ

Se realizó la medición de parámetros in situ mediante equipos previamente calibrados como: un medidor multiparámetros HORIBA. El mismo que ayudó en la medición de pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto. Además, un turbidímetro con el que se midió

turbidez. Estos parámetros fueron tomados en ese momento para evitar cambios en sus características.

2.7.5 Análisis de parámetros en laboratorio

Se realizó el análisis de parámetros físico químicos en un Laboratorio Acreditado ABGES en la ciudad de Quito, para garantizar que los resultados de los análisis sean evaluados bajo la calibración y prueba de los equipos bajo la normativa de acreditación vigente. Entre algunos de los parámetros que se analizaron están: DBO₅, DQO, Coliformes, aceites y grasas, nitrógeno, fósforo, sólidos entre otros.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se podrá evidenciar el estado actual de las tuberías, la cantidad de agua que ha sido tratada en el sistema que se implementó, los resultados obtenidos en el análisis de parámetros antes y después de la implementación del sistema, diseño final de la trampa de grasas y biofiltro. Todos estos puntos serán detallados con tablas e imágenes que ayuden a mostrar y entender de manera clara el cumplimiento, resultados y funcionamiento del sistema.

3.1 Verificación del sistema actual de las tuberías

Una vez realizado el levantamiento del estado actual de las tuberías y después de la verificación de cada una de las descargas, se colocó una tubería única para la recolección de las aguas grises de las cocinas, que, por medio de la cual, se realizó el muestreo necesario para los análisis de los parámetros que exige la normativa vigente para la utilización de las aguas tratadas en el riego agrícola en los huertos de las viviendas.

3.2 Separación de las tuberías

La separación de las tuberías se realizó de la siguiente manera después de haber definido los puntos exactos para la implementación y se la describe a continuación:

Para la saliente de las cocinas de las 2 viviendas se colocó tuberías de material plástico PVC, de 2 pulgadas de diámetro. Se recopiló información de longitudes, diámetros, codos y demás accesorios de los que constan las conexiones desde la salida del lavabo hasta el tanque de recolección.

Los tramos de tuberías de las 2 viviendas se unieron con una “Y” de 2 pulgadas para tener un solo punto de recolección.

Luego, se vertieron 10 litros de agua en cada lavabo de las cocinas, comprobando que la misma cantidad de agua enviada al inicio fue recolectada al final de la tubería.

En la siguiente imagen, **Figura 3.1**, se muestra la correcta separación de las tuberías, las mismas que no se conectaron con otro tramo de tuberías (aguas negras y agua lluvia) que podían afectar la calidad del agua.



Figura 3.1 Separación de tuberías en las viviendas

3.3 Aforo de caudales

En la siguiente **Tabla 5**, se detalla la cantidad de agua recolectada durante diez días, se muestran tres franjas horarias divididas de la siguiente manera:

- Mañana: desde las 7 a 10 de la mañana
- Tarde: desde las 10 de la mañana hasta las 16 horas, considerando la franja horaria con más volumen de recolección.
- Noche: desde las 16 horas hasta las 7 horas del siguiente día, esto se debe a que no se utiliza gran cantidad de agua.

Según estos datos recolectados, se demostró que el caudal máximo horario fue de 274 L/día y el que se utilizó para el diseño del sistema.

Tabla 5. Registro de agua residual recolectada de las cocinas

Registro de agua residual recolectada de las cocinas										
FECHA	17/02	18/02	19/02	20/02	21/02	22/02	23/02	24/02	25/02	26/02
Mañana 07:00-10:00 (L/día)	66	56	44	65	86	26	67	87	46	53
Tarde 11:00-16:00 ((L/día)	102	101	90	56	49	20	148	98	101	181
Noche 17:00-06:00	22	20	26	18	20	22	20	43	38	40

(L/día)										
Total (L/día)	190	177	160	139	155	68	235	228	185	274

(Elaborado por el autor)

3.4 Análisis realizados antes de la implementación del sistema

Fue necesario realizar análisis de parámetros en base a los requerimientos del proyecto como para la modelación del sistema, para la comprobación de la efectividad del tratamiento implementado y en base a los que la normativa pone como límite permisible para la descarga de un efluente.

Se realizó el análisis de parámetros físico químicos previos al modelamiento del sistema en un Laboratorio Acreditado ABGES en la ciudad de Quito, **Figura 3.2**, para garantizar que los resultados de los análisis sean evaluados bajo la calibración y prueba de los equipos bajo la normativa de acreditación vigente.

Se procedió a tomar muestras simples para los análisis de fosfatos, nitritos, nitratos, sulfatos, DQO, DBO₅, aceites, grasas y coliformes totales, con el fin de cumplir con los parámetros y los Criterios de calidad de agua para uso agrícola o de riego y en la tabla N°4 que determina los Parámetros de los Niveles de la Calidad de Agua para Riego establecidas en el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1. (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015)

4.2. RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA COMPUESTA

A continuación, se presentan los resultados de las muestras de agua de los parámetros definidos por el cliente y cuantificados por un laboratorio acreditado.

Tabla 03: Resultados de la muestra de agua - Análisis físico químico – MA-01

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE (K=2)
Aceites y grasas	mg/L	84,2	± 15%
NMP, Coliformes totales	NMP	24 x 10 ⁵	No aplica

^A Según la Ordenanza Metropolitana No. 138, Resolución No. SA-DGCA-NT002-2016, SECRETARIA DEL AMBIENTE. NT002: Norma Técnica para Control de Descargas Líquidas. Anexo 1. Tabla No. A1. Límites máximos permisibles por cuerpo receptor. Alcantarillado. Fuente: Informe INF.LASA-11-05-21-1739 y 12/05/2021-2830
Elaboración: ABGES Laboratorio Analítico, 2021.

Figura 3.2 Resultados de los análisis en el laboratorio ABGES

Los criterios de calidad del agua para uso agrícola con aguas residuales requieren un tratamiento previo que garantice los niveles establecidos en la Norma, por lo tanto, se realizaron los análisis que determinen los diferentes contaminantes que se necesiten tratar con la ayuda de la trampa de grasas y el biofiltro. **Tabla 6.**

A continuación, se muestra los parámetros analizados de manera in situ y en el laboratorio acreditado con sus respectivos resultados:

Tabla 6. Parámetros iniciales analizados

Parámetro	Unidad	Resultado
Oxígeno disuelto	mg/L	3.98
Turbidez	NTU	647
Temperatura	°C	22.30
pH	Ph	5.88
Conductividad	mS/cm	0.430
Cloruros	mg/L	94.40
Nitritos	mg/L	47.08
Nitratos	mg/L	1.68

Sulfatos	mg/L	9.79
Fosfatos	mg/L	7.37
DQO	mg/L	1 524
DBO ₅	mg/L	700
SST	mg/L	932
ST	mg/L	1 164
Aceites y grasas	mg/L	84.2
Coliformes	NMP	24X10 ⁵

(Elaborado por el autor)

3.5 Construcción del biofiltro

Para la implementación del biofiltro, se optó por el de tipo superficial vertical. Este tipo se caracteriza por contar con una extensión de tubería a lo largo de toda la superficie del biofiltro, **Figura 3.3** de esta manera el agua que sale desde la trampa de grasas hacía el biofiltro se extiende y se riega por todas las plantas que han sido colocadas, ayudando al aprovechamiento del agua gris en todo el sistema.



Figura 3.3 Tubería en la superficie del biofiltro

En la implementación inicial del biofiltro no se consideró el uso de arena como material filtrante, debido a que no era recomendado utilizarlo. Luego de observar el agua filtrada por el sistema se evidenció que los resultados no eran favorables, por lo que se analizó una segunda opción en la que se incluyó arena, de esta manera se logró obtener mejores resultados en el agua filtrada por el sistema.

3.5.1 Alternativa uno

Para colocar el material filtrante en el tanque, se lavó el material como el ripio, piedra, entre otros. **Figura 3.4.** Este proceso se lo realizó varias veces debido a que el material se encontraba con muchas impurezas que debían ser retiradas para una mayor eficiencia del sistema de tratamiento.



Figura 3.4 Lavado del material filtrante

Pasados 20 días de la colocación del material filtrante y puesta en funcionamiento, se procedió a la toma de parámetros *in situ*, de esta manera se pudo comprobar que el pH del agua tratada se acidificó pasando de 5.88 a 4.99 y un OD de 3.82 a 1.44 mS/cm.

Estos resultados mostraron que la implementación del biofiltro necesitaba una reforma para alcanzar los resultados requeridos según la normativa vigente.

3.5.2 Alternativa dos

Para la implementación del biofiltro con el nuevo material filtrante se lo colocó de acuerdo a su conductividad hidráulica, se añadió arena fina que es el material que contribuyó a la filtración del agua residual. Se siguió colocando los demás materiales hasta llegar a la piedra y por último se colocó una capa de tierra en donde se sembró las plantas macrófitas que ayudaron a la retención de los contaminantes y exceso de nutrientes. **Figura 3.5.**

Por otro lado, fue muy importante la compactación del material filtrante, para que los sedimentos se retengan y en especial el carbón activado realice su función.



Figura 3.5 Colocación del material filtrante

3.6 Resultados de costos de la implementación

3.6.1 Costos de la mano obra

Para la mano de obra se contó con un albañil y su ayudante los mismos que trabajaron durante cuatro días hasta terminar el trabajo. Los dos trabajadores cobraron diariamente que se muestran en la siguiente **Tabla 7**.

Tabla 7.Costos de mano de obra

Mano de obra para la construcción de la trampa de grasas y el biofiltro			
Descripción	Horas trabajadas	Precio por hora	Precio total
Maestro de obra	40	\$ 4.50	\$ 180.00
Ayudante de obra	40	\$ 3.50	\$ 140.00
Total			\$ 320.00

(Elaborado por el autor)

3.6.2 Costos de los materiales de construcción

Se detallan los materiales y las cantidades utilizadas de cada material y su costo tanto unitario como total en la **Tabla 8**.

Tabla 8.Costo de materiales

Materiales para la construcción				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Ladrillo	Unidad	130	\$ 0.30	\$ 39.00
Cemento	Unidad	5	\$ 8.00	\$ 40.00

Arena amarilla	carretillas	5	\$	2.00	\$	10.00
Arena azul	carretillas	5	\$	2.00	\$	10.00
Tubo de PVC 2"	Unidad	4	\$	6.00	\$	24.00
Codos	Unidad	5	\$	1.50	\$	7.50
Y	Unidad	2	\$	1.30	\$	2.60
Tapa 2"	Unidad	3	\$	1.00	\$	3.00
Cerámica	m ²	1	\$	8.50	\$	8.50
Pegatubo	unidad	1	\$	2.00	\$	2.00
Bentocryl	litros	1	\$	8.40	\$	8.40
Impermeabilizante hormigón	unidad	1	\$	8.00	\$	8.00
Geomembrana	m ²	3	\$	2.00	\$	6.00
Tornillos	unidad	50	\$	0.05	\$	2.50
Tabla de monte	unidad	2	\$	2.00	\$	4.00
TOTAL					\$	175.50

(Elaborado por el autor)

3.6.3 Costos de material filtrante

Los costos del material filtrante se calcularon sumando la primera y la segunda alternativa de los biofiltros.

Tabla 9. Costos de material filtrante

Material de relleno del biofiltro				
Material	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Carbón activado	Saco	4	\$ 35.00	\$ 140.00
Zeolita	Saco	4	\$ 35.00	\$ 140.00
Arena para filtro	Saco	4	\$ 6.00	\$ 24.00
Ripio	Carretilla	10	\$ 2.00	\$ 20.00

Carbón vegetal	Saco	2	\$ 6.00	\$ 12.00
Piedra	Carretilla	2	\$ 2.00	\$ 4.00
			TOTAL	\$ 340.00

(Elaborado por el autor)

3.6.4 Costo total del proyecto

El total de costos de la construcción se calcularon en la siguiente tabla.

Tabla 10.Costo total del proyecto

Total de inversión en el proyecto	
Descripción	Precio
Mano de obra	\$ 320.00
Materiales de construcción	\$ 175.50
Materiales para el relleno	\$ 340.00
TOTAL	\$ 835.50

(Elaborado por el autor)

3.7 Análisis de parámetros finales luego del sistema de tratamiento

Después de la implementación, a los 30 días se tomó una cantidad representativa de muestras para cada uno de los análisis que se realizaron, estas muestras fueron debidamente membretadas y conservadas con hielo para evitar la degradación. Se llevaron al Centro de Soluciones Analíticas Integrales CENTROCESAL Cía. Ltda., este laboratorio cuenta con un reconocimiento ya que está acreditado con la ISO 17025 que garantiza que los resultados entregados fueron fiables.

Se entregaron varias muestras en frascos ámbar para aceites y grasas, nitrógeno, DBO, DQO entre otros y en un frasco esterilizado para análisis microbiológicos.

En la siguiente figura se muestra uno de los resultados, el cual fue favorable.



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cía. Ltda.
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 42435-01-15-09-21-Q

Datos del Cliente			
Cliente:	Estrella Vanesa		
Representante:	Vanesa Estrella		
Dirección:	Alangasí		
Teléfono:	09 98397980		
Datos del ítem de Ensayo			
Identificación de la Muestra:	AGUA RESIDUAL		
Descripción de la Muestra:	Líquido turbio amarillo		
Contenido declarado:	1100 mL	No. Lote o código:	ND
Conservación de la Muestra:	Ambiente	Fecha de elaboración:	ND
		Fecha de caducidad:	ND
Datos de Muestreo, Recepción y Análisis			
Responsable toma de muestra:	Por el cliente	Fecha toma de muestra:	ND
Responsable muestreo:	NA	Fecha de recepción:	2021-09-15
Referencia:	Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió	Fechas de ensayo:	2021-09-15/21
Parámetros acreditados muestreo:	NA	Fecha de reporte:	2021-09-212

Resultados analíticos: Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Aceites y grasas	POE 7.2.50 EPA 1664 A	mg/L	<10

POE: Procedimiento Interno
EPA: Environmental Protection Agency

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001

Figura 3.6 Resultados de los análisis en el laboratorio CENTROCESAL. Cía. Ltda

En la siguiente **Tabla 11** se detalla los resultados de cada parámetro analizado de manera in situ y en laboratorio acreditado luego de haber pasado por el sistema de tratamiento:

Tabla 11. Parámetros analizados finales

Parámetro	Unidad	Resultado
Oxígeno Disuelto	mg/L	1.92
Turbidez	NTU	7.12
Temperatura	°C	15.99
pH	pH	6.82
Conductividad	mS/cm	0.117
Cloruros	mg/L	40
Nitritos	mg/L	0.01

Nitratos	mg/L	0.03
Sulfatos	mg/L	2
Fosfatos	mg/L	17.39
DQO	mg/L	115
DBO₅	mg/L	50
Aceites y Grasas	mg/L	<10
Coliformes	NMP	16 000

(Elaborado por el autor)

Con los resultados obtenidos de los parámetros analizados, se procedió a realizar una tabla de comparación entre los resultados iniciales antes de la implementación y los finales a la salida del sistema.

En la siguiente

Tabla 12 se muestran los porcentajes de remoción de cada uno de los parámetros. Se procedió a comparar con los Criterios de calidad por usos en la tabla N°5 establece los Criterios de Calidad del recurso agua en el uso Pecuario y con los Criterios generales de descarga de afluentes tanto al sistema de alcantarillado como para los cuerpos de agua del Libro VI, Anexo 1 del TULSMA. (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015)

Tabla 12 Comparación de parámetros finales con la normativa vigente

Parámetros	Unidades	Inicial	Final	Porcentaje de remoción	Uso en Riego	Uso pecuario	Descarga Alcantarillado
Temperatura	°C	22.3	15.99				
pH	pH	5.88	6.82		6.5-8.5		
Conductividad	mS/cm	0.430	0.117	72.79			
Oxígeno disuelto	mg/L	3.7	1.92	48.1			
DQO	mg/L	1 524	115	92.45			500
DBO₅	mg/L	700	50	92.85			250
Cloruros	mg/L	94.4	40	57.62			
Turbidez	NTU	647	7.12	98.89			
Sulfatos	mg/L	9.79	2	79.57	250		400
Nitrito	mg/L	47.8	0.01	99.97	30	50	
Nitrato	mg/L	1.68	0.03	98.21		0.2	
Manganeso	mg/L		0.05		0.2		
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L		89.54	49.23			60
Fosfatos	mg/L	7.37	17.39				
Aceites y grasas	mg/L	84.2	<10	89.31	ausencia		70
Coliformes	NMP	24X10 ⁵	16000	99.33	1 000	1 000	
Nitrógeno amoniacal	mg/L		7				
Hierro	mg/L		5		5		25
Cinc	mg/L		0		2	25	10
Aluminio	mg/L		0		0.1	5	5
Arsénico	mg/L		0		0.1	0.2	0.1
Boro	mg/L		0		0.75	5	
Níquel	mg/L		0.065		0.2		

(Elaborado por el autor)

Una vez analizada la tabla con la normativa Ecuatoriana vigente, Registro Oficial de la Reforma del Libro IX del Texto unificado de Legislación Secundaria 2 015 Tabla 3: Criterio de Calidad de Aguas para Riego Agrícola, se comparó y comprobó que existen parámetros que no cumplen con los límites permisibles, esto debido a varios factores que se detallan en cada parámetro. Así también existen parámetros que si cumplen y están dentro de los límites permisibles, todo esto se discute a continuación. (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015)

3.7.1 Parámetros que no cumplen con la normativa

Tabla 13. Parámetros que no cumplen con la normativa

Concentración	Inicial	Final
Nitrógeno Kendjal (mg/l)		89,54
Oxígeno disuelto (mg/l)	3,7	1,92

- **Nitrógeno Kendjal**

De acuerdo con la normativa para descarga en el alcantarillado público, el límite permisivo de descarga es de 60 mg/l.

Como resultado del análisis de la muestra recolectada al final del sistema de tratamiento, se obtuvo como resultado 89.54 mg/l de Nitrógeno Kendjal, debido que las condiciones de funcionamiento del sistema no son las óptimas debido a que necesita un tiempo estimado de funcionamiento de 100 días para que las plantas sembradas puedan poblar la totalidad del biofiltro para absorber el exceso de nutrientes en el agua.

- **Oxígeno disuelto**

Al analizar el oxígeno disuelto se obtuvo como resultado 1.92 mg/l, no cumple con los límites permisibles para riego agrícola de 3 mg/l que exige la normativa. En estudios relacionados al consumo de nitrógeno y fosfatos en los sistemas de tratamiento con exceso de materia orgánica, se ha observado que el mayor consumo de las bacterias anóxicas consumidoras se desarrollan en niveles de 0.2 a 0.5 mg/L de oxígeno disuelto, lo que demuestra que las bacterias en el biofiltro aún no han llegado su capacidad de adaptación al 100% y aún existen zonas con aire dentro del biofiltro.



Figura 3.7 Oxígeno Disuelto inicial y final

3.7.2 Parámetros que cumplen con la normativa

Tabla 14. Parámetros que cumplen con la normativa

Concentración	Inicial	Final
Conductividad	0.4	0.115
DQO (mg/l)	1524	115
DBO5 (mg/l)	700	50
Coliformes (NMP)	2400000	16000
Cloruros (mg/l)	94,4	40
Turbidez (NTU)	647	7,12
Nitritos (mg/l)	47,8	0,01
Nitratos (mg/l)	1,68	0,03
Aceites y grasas (mg/l)	84,2	9
Fosfatos (mg/l)	7,37	17,39

El sistema de tratamiento para aguas residuales de las cocinas demostró ser eficiente para los siguientes parámetros, los mismos que presentaron una reducción significativa de más del 70% en la mayoría de los casos.

- **Conductividad**



Figura 3.8 Conductividad inicial y final

- **DQO (Demanda Química de Oxígeno)**

En DQO se obtuvo como resultado inicial 1524 mg/l, luego de pasar por el sistema de tratamiento se obtuvo un resultado final de 115 mg/l, se logró una reducción del 92.45%. Los resultados obtenidos demuestran la reducción de materia orgánica debido a que se retienen dentro del biofiltro por las diferentes capas de material filtrante y las macrófitas existente.

La remoción eficiente de la DQO se puede afirmar que es debido a la variedad de plantas que contiene el biofiltro, cada una de ellas realiza funciones de absorción y retención de diferentes elementos existentes en el agua residual. Las raíces poco a poco se van adhiriendo a los diferentes materiales filtrantes ayudando a la formación de comunidades bacterianas degradadoras de la materia orgánica. (MONTTOYA et al., 2010)

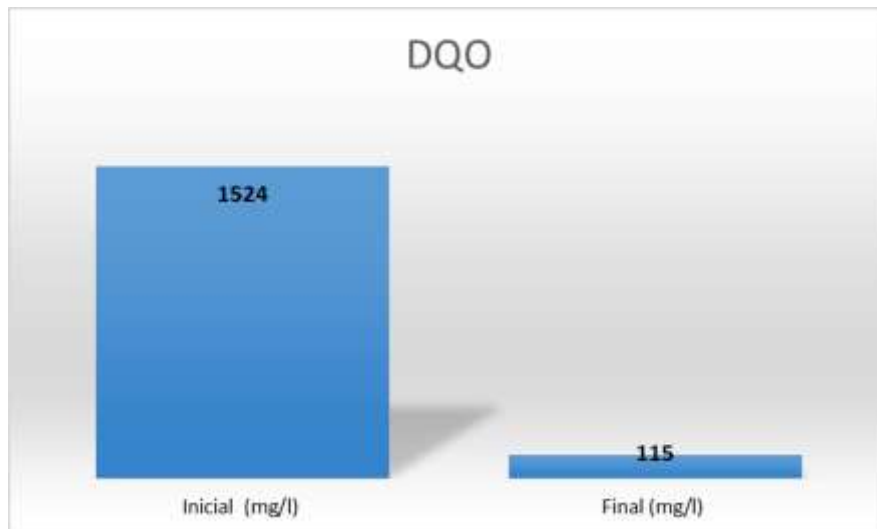


Figura 3.9 DQO inicial y final

DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)

En DBO₅ se obtuvo como resultado inicial 700 mg/l, luego de pasar por el sistema de tratamiento se obtuvo un resultado final de 50 mg/l, se logró una reducción del 92.85%. Este resultado demuestra la capacidad de retención y biodegradación de la materia orgánica que ingresa al biofiltro dependiendo del tiempo de retención.

Se recolectó al final del biofiltro un volumen de 1 L en 0.28 min, lo que da como resultado de un tiempo de retención hidráulica recalculada de 5.2 días, lo que ayuda a reducir varios parámetro importante como en este caso la DBO₅, y remoción de coliformes entre los más importantes.

Al observar estos resultados, se logró lo esperado ya que plantas como la cala y el bambú son de gran ayuda para remoción de contaminantes y absorción de exceso de nutrientes. Estos resultados se los podría mejorar con el tiempo, ya que al encontrarse en estado de adaptación no cumplen al 100% con su función, pero los resultados obtenidos son muy satisfactorios.

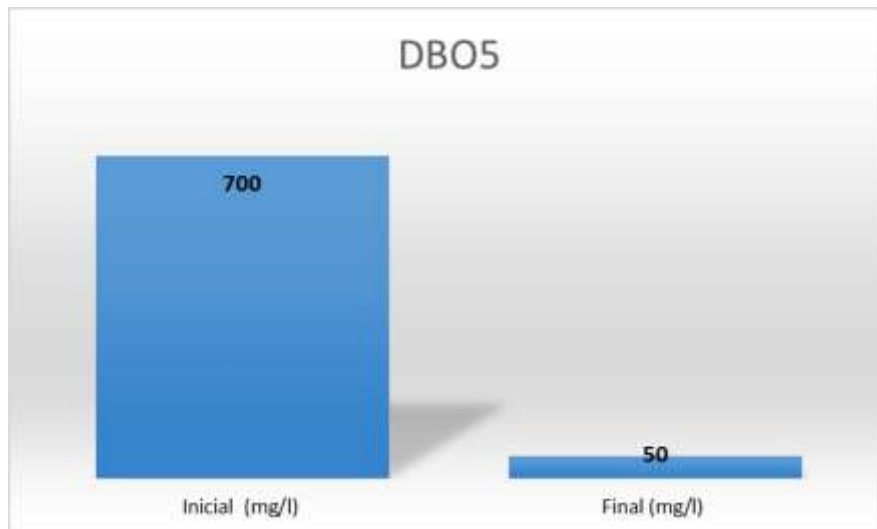


Figura 3.10 DBO₅ inicial y final

Coliformes

Los análisis iniciales de coliformes demostraron la existencia mediante el número más probable de 24×10^5 NMP, luego del paso del agua residual por la biofiltro, se obtuvo una reducción significativa del 99.33%, dando como resultado final de 16 000 NMP.

Los resultados obtenidos sobre los coliformes muestran que el sistema no ha tenido la adaptación suficiente de las macrófitas, esto se debe a que la reducción de este parámetro se logra en mayor capacidad al haberse creado un biofilm en el interior del biofiltro. Las plantas macrófitas, mediante el crecimiento de sus raíces, penetran por todo el lecho poroso en el que están sembradas, retienen la materia orgánica, sólidos disueltos y más componentes del agua residual que entran desde la trampa de grasas y se convierten en nutrientes para las plantas.

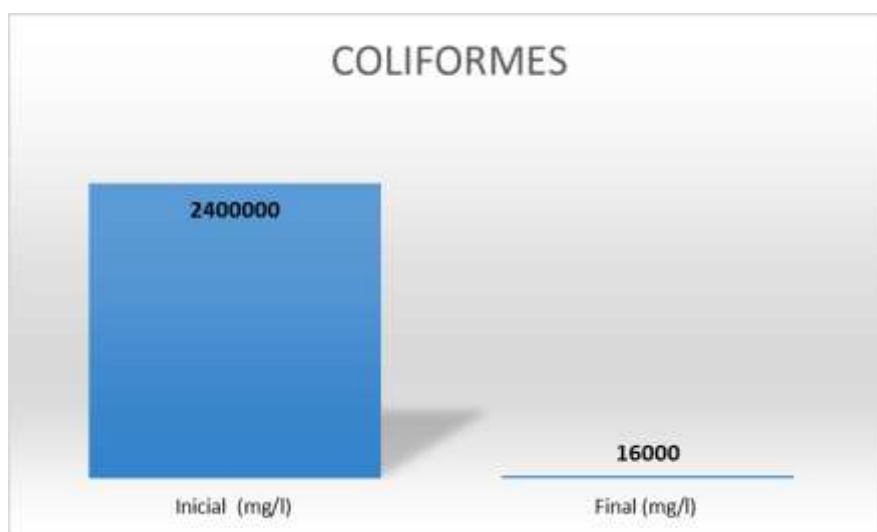


Figura 3.11 Coliformes inicial y final

- **Cloruros**

En Cloruros se obtuvo como resultado inicial 94.4 mg/l, luego de pasar por el sistema de tratamiento se obtuvo un resultado final de 40 mg/l, se logró una reducción del 57.62%.

La presencia de cloruros en el agua que ha sido tratada podría afectar la calidad del suelo en el momento de su utilización para el riego agrícola. Así, con la disminución de este parámetro se garantiza un riego seguro en los huertos de la vivienda.

La reducción de los cloruros en el agua es muy importante en este caso, ya que el fin es usarla para riego. El exceso de cloruros en el agua puede convertirse en un elemento tóxico ya que se concentra en las hojas. Producen necrosis en la punta de las hojas, las flores se caen y no se dan los frutos, también afecta al crecimiento de la planta. (Amagua & Canchig, 2020).

Por medio de la fitodegradación, convierten las moléculas en elementos más sencillos para facilitar la absorción, pasan a formar parte de los tejidos mediante la fotosíntesis, se incorporan a los tallos, hojas y flores que se eliminan de las plantas cuando estas partes mueren. En el caso del biofiltro, es necesario realizar una poda continua de aquellas partes “viejas” o secas y así eliminar los contaminantes y estimular el crecimiento. (Cubillos, 2011)

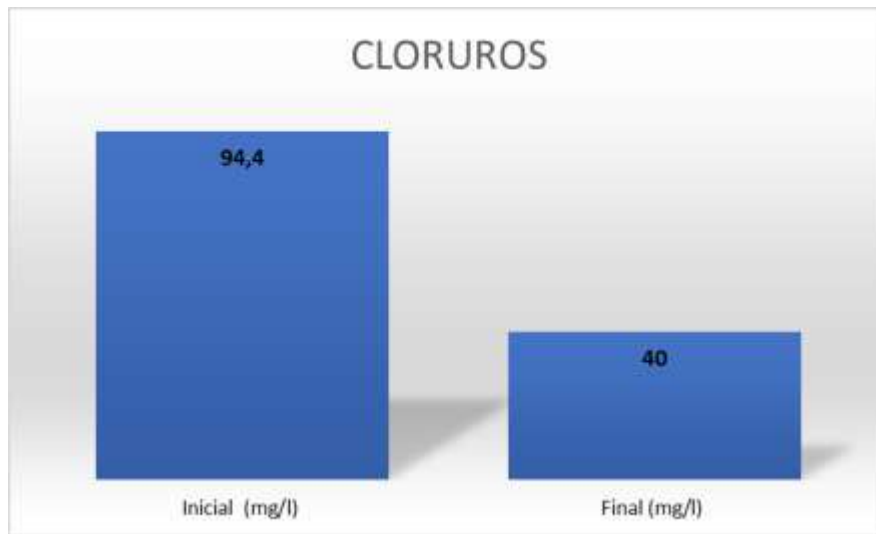


Figura 3.12 Cloruros inicial y final

Turbidez

En Turbidez, mediante la implementación de las diferentes capas de material se logró reducir hasta un 98.89%, de 647 NTU a 7.12 NTU.

Se sabe que la turbidez es un indicador de calidad de agua, por lo que una alta concentración de turbidez podría evaluarse como una gran cantidad de sólidos en suspensión encontrados. Al lograr una reducción muy significativa de turbidez, se ha logrado que la trampa de grasas retenga aquellos sólidos que podrían afectar la calidad del agua. Un papel muy importante para la turbidez lo realizan los materiales que se utilizaron para el biofiltro, ya que, al colocar varias capas de diferente diámetro de material filtrante como la arena, el carbón activado entre otras, retienen gran cantidad de partículas muy pequeñas.

Otras partículas como las de materia orgánica se retienen en el material filtrante y por medio de las raíces que forman una especie de colador, al retenerse se descomponen y las plantas macrófitas absorben los nutrientes necesarios para incorporarlos a la fotosíntesis. Mediante este proceso se eliminan muchos contaminantes evitando que se descargue en el efluente y la contaminación del suelo y el agua.

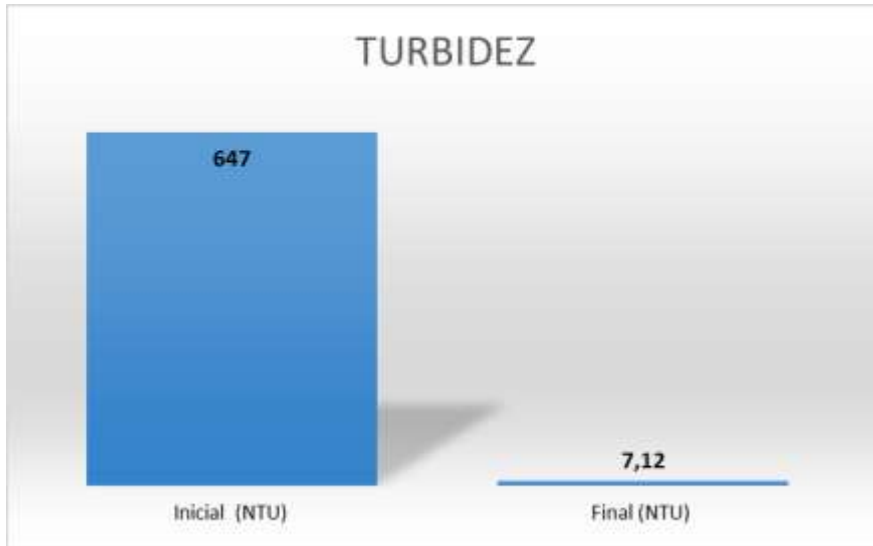


Figura 3.13 Turbidez inicial y final

Nitritos

Los Nitritos como resultado inicial se obtuvo 47.8 mg/l, luego de pasar por el sistema de tratamiento se obtuvo un resultado final de 0.01 mg/l, se logró una reducción del 92.45%.

De esta manera se puede reflejar que los contaminantes fecales que podrían afectar a la calidad del agua son insignificantes, y que el agua tratada es adecuada para el riego.

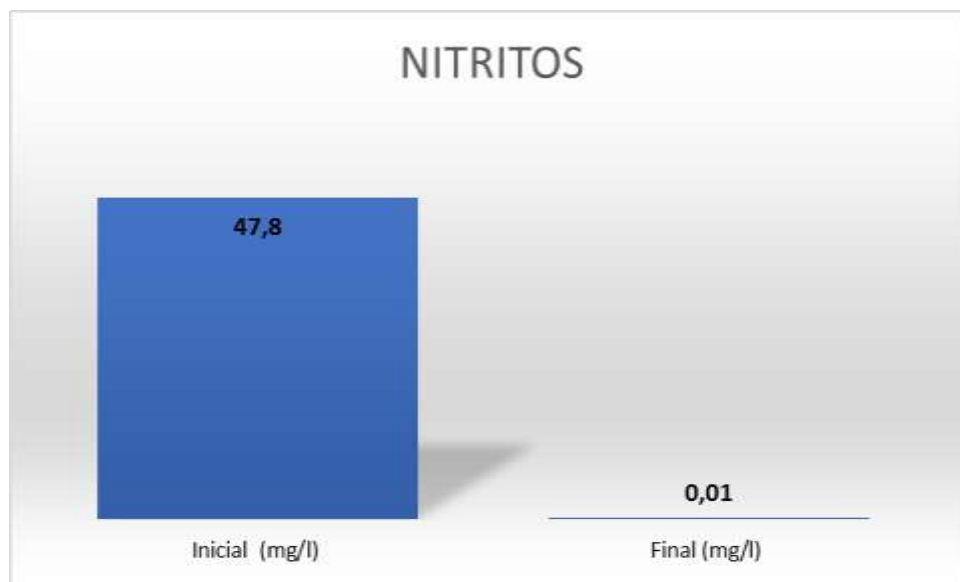


Figura 3.14 Nitritos inicial y final

Nitratos

Los Nitratos se obtuvo como resultado inicial 1.68 mg/l, luego de pasar por el sistema de tratamiento se obtuvo un resultado final de 0.03mg/l, se logró una reducción del 98.21%.

Al igual que los nitritos, los nitratos vendrían a ser un indicador de contaminantes tóxicos en el agua. Por lo que su disminución es muy beneficiosa para una mejor calidad del agua.

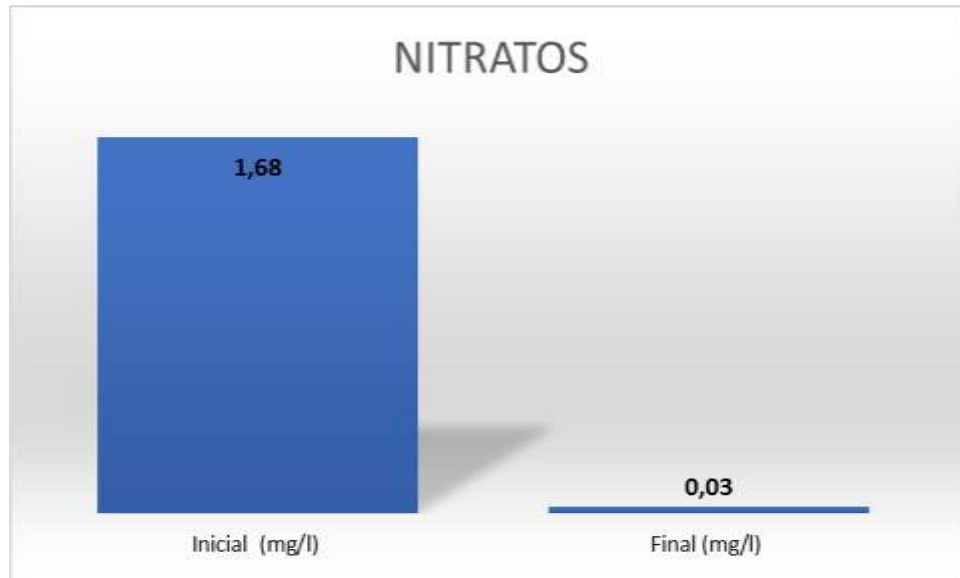


Figura 3.15 Nitratos inicial y final

Aceites y grasas

Los aceites y grasas antes de la implementación del sistema mostraban un valor de 84.2 mg/l, después de pasar por la trampa de grasas y el biofiltro, se logró una reducción del 89.31%, con un resultado final <10 mg/l. Las plantas sembradas deben llegar a absorber las grasas y depositarlas en los tallos y hojas y esto se logra con el crecimiento de las mismas.

A pesar del poco tiempo que las plantas han estado en adaptación, han logrado unos resultados muy buenos, por lo que con el paso del tiempo se espera que cada una de las plantas que se han implementado pueden realizar con mayor efectividad su trabajo. De esta manera se logrará un agua de mayor calidad para el uso de riego agrícola.

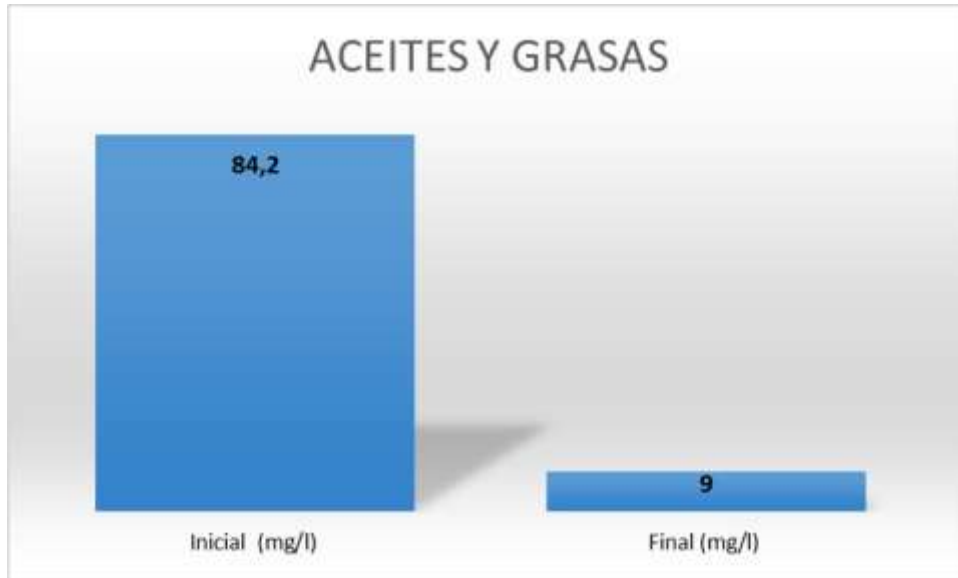


Figura 3.16 Aceites y grasas inicial y final

Fosfatos

El resultado de los fosfatos fueron mucho más altos que los iniciales debido al nitrógeno y el oxígeno disueltos ya que mediante estos parámetros se logra reducir este parámetro debido a que es necesario la presencia del oxígeno disuuelto, esto se logrará mediante las plantas macrófitas ya que son las encargadas de consumir la materia orgánica y aportar el oxígeno en el agua por medio de la fotosíntesis.

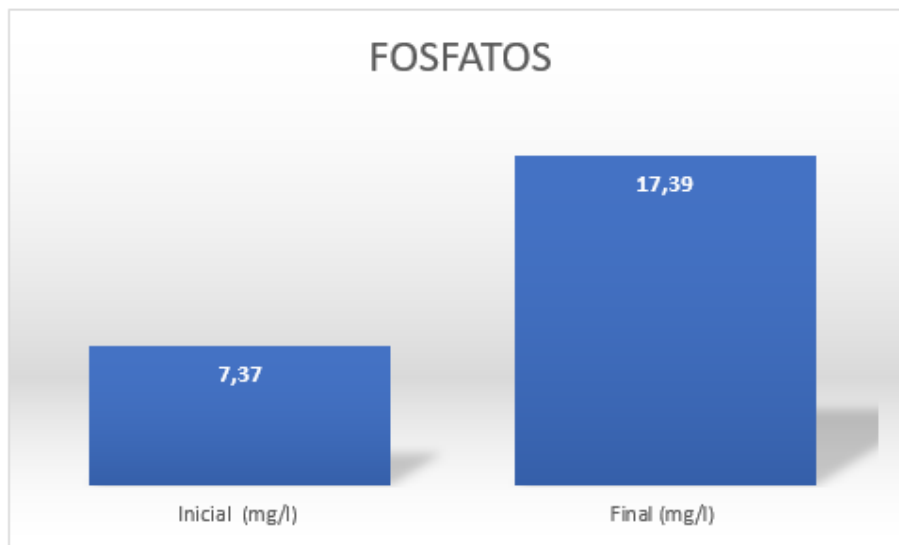


Figura 3.17 Fosfatos inicial y final

3.7.3 Metales pesados analizados

La normativa expresa que es necesario controlar la existencia de metales pesados, para cumplir con la norma se analizó varios parámetros como los descritos a continuación, los cuales se cumplen satisfactoriamente.

Estos parámetros son Hierro, Arsénico, Cinc, Aluminio, Boro, Níquel y Manganese, los cuáles no se analizó al inicio del tratamiento, pero se demostró que cumplen con la normativa vigente.

4 MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

El siguiente código QR se copia toda la información sobre el uso y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales, para reutilizar en el riego agrícola, no se llegó a las condiciones necesarias para este fin, pero si se logró reducir el porcentaje de contaminación en gran parte de los parámetros analizados mejorando las condiciones de entrada del afluente, a pesar de la gran cantidad de materia orgánica, aceites y grasas y detergentes, lo que causó la degradación acelerada del agua residual en la trampa de grasas a pesar de la implementación de una rejilla para la recolección de los sólidos.
- Con la cantidad de agua recolectada mensualmente se podrían reducir 8.22 m³/mes de la factura de consumo, lo que demuestra que el sistema es efectivo en reducción de la contaminación de las aguas residuales así como en el ahorro del agua potable destinado al riego agrícola.
- En la primera implementación del biofiltro con flujo subsuperficial, se pudo comprobar la poca o nula filtración al observar el efluente con características muy similares a las de entrada, para comprobar esta observación se realizó la medición de parámetros in situ como el pH con un valor de 4.99, el nulo cambio de color del agua y una película evidente de grasas y aceites. Se concluyó que la mejor manera de mejorar los parámetros era cambiando el material filtrante y el tipo de flujo a flujo superficial vertical.

- En la posterior implementación de un biofiltro de flujo superficial vertical con nuevos materiales como arena fina y el reordenamiento del material filtrante, se logró obtener mejores resultados como la DBO₅ con una remoción del 92.85% y la DQO del 92.45%, esto demostró que la materia orgánica es MUY BIODEGRADABLE ya que la relación DBO₅/DQO es mayor a 0.4.
- En función a los resultados obtenidos, al implementar el sistema de tratamiento se requiere de mayor tiempo de funcionamiento y la necesidad de especies macrófitas en mayor desarrollo y con mayor profundidad de sus raíces para que ayuden a la descontaminación del agua residual. El biofiltro implementado tubo un tiempo de monitoreo de 30 días, en los cuales varios de los parámetros analizados mejoraron, otros mostraron cambios negativos como el Nitrógeno Kjeldahl, los Fosfatos y el Oxígeno disuelto debido al poco tiempo de funcionamiento y la gran cantidad de materia orgánica.
- Según el Libro IX del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Tabla 4: Criterios de Calidad de Aguas para Riego Agrícola, el agua residual tratada mediante la trampa de grasas y el biofiltro no cumple con las condiciones necesarias para ese uso en específico. Se ha demostrado que el sistema es efectivo en más de un 70% de reducción de parámetros en 30 días de funcionamiento. (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015)

5.2 Recomendaciones

- Para el mejorar los parámetros obtenidos del sistema implementado es necesario un monitoreo continuo, de esta manera se puede confirmar que los tiempos de retención calculados son los correctos y ayudarán a mejorar las condiciones del tratamiento del agua residual.
- Las macrófitas que se utilizaron en el sistema, son plantas específicas del sector, están habituadas al clima y se han adaptado perfectamente, por lo tanto es importante tener en cuenta que el medio ambiente que se crea en el biofiltro sea muy similar a su hábitat natural.
- Para una eliminación constante y efectiva de los contaminantes es necesario la poda constante de las macrófitas para estimular el crecimiento, así se regeneran y los contaminantes pasan a formar parte de los tallos y hojas.
- Se recomienda la elección, distribución y la compactación del material filtrante como parte fundamental para que el agua residual tenga las condiciones necesarias para la reutilización del agua residual tratada y cumpla con la normativa vigente.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amagua, P., & Canchig, J. (2020). *EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA IFA CON ACHIRA (Canna indica) A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6780/1/PC-000924.pdf>
- Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua, TULAS Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente 8 (2011).
- Constitución del Ecuador, 1 (2008). <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>
- Cubillos, J. (2011). Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 12–93. <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co>
- Delgadillo, O., Camacho, A., & Serie, M. A. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales* (Nelson Ant). https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- EPMAPS. (2011). Estudios de actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ. *Hazenand Sawyer Ingenieros Ambientales y Científicos*, 1, 85.
- Galarza, A., & Pérez, P. (2019). *Diseño de Humedales para Fitorremediación de plomo y cromo con Typha latifolia en el lago Yahuarcocha-Imbabura* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE]. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09706-3><http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2017.09.008><https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117919><https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103116><http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.004><http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.004>
- Gonzales, D., Amaiz, L., & Luis, M. (2012). Biodegradación de Residuo Graso Industrial Empleando Bacterias Endógenas. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal* 3(2):105-118, 14. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Kzg4oGjk2o4J:www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/37/36+&cd=5&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Granados, M. M. (2018). Estudio de factibilidad de la implementación de humedales

- artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en Toquilla. *Universidad Libre Facultad de Ingenierías*, 83. [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11576/Proyecto, artículo y plantilla congreso.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11576/Proyecto_articulo_y_plantilla_congreso.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- INEC. (2016). Estadística de información ambiental económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015 (Agua y Alcantarillado). *Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, 2015*, 30. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf
- AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS, 26 (2013). <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf?x42051>
- Metcalf, E. (2000). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. <https://www.freelibros.me/ingenieria/ingenieria-de-aguas-residuales-volumen-2-3ra-edicion-metcalf-eddy>
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente 1 (2015). <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- MONTOYA, J., CEBALLOS, L., CASAS, J., & MORATÓ, J. (2010). Estudio Comparativo Da Remoção De Matéria Orgânica Em Banhados Construídos De Fluxo Horizontal Subsuperficial Usando Tres Espécies De Macrófitas. *Revista EIA*, 14, 75–84.
- Noda, J. (2017). Evaluación de la calidad del agua en un humedal de agua salada del Caribe. *Revista INGENIERÍA UC*, 24(3), 417–427.
- OPS/CEPIS. (2005). *Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/xv.pdf>
- Parra, O. (2020). *Ajuste de los parámetros del modelo integral de una biojardinera con trampa de grasas bioactiva*. 54. <https://docplayer.es/210808152-Ajuste-de-los-parametros-del-modelo-integral-de-una-biojardinera-con-trampa-de-grasas-bioactiva.html>
- Parrao, L. (2018). *para el Tratamiento de aguas Residuales*. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47123/3560900260713UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Quispe, A. (2018). *Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho-Chosica* [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://1library.co/document/zx9neodz-evaluacion-eficiencia-biofiltros-tratamiento-residuales-domesticas-localidad-lurigancho.html>
- Ramsar. (2014). *La importancia de los humedales*. <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales>
- Serrano, J. G., & Corzo Hernández, A. (2008). Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. *Universidad Politecnica de Cataluña*, 108. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/2474>

7 ANEXOS

ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 05 de noviembre de 2020

CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Mauricio Vásquez Falcones, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas grises domésticas en la vivienda ubicada en el Valle de los Chillos, los cuales fueron implementados por los estudiantes Estrella Vanessa y Pruna Dennis.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios de la vivienda puedan usar el agua tratada para uso agrícola.

DIRECTOR

Ing. Eduardo Mauricio Vásquez Falcones., Msc.

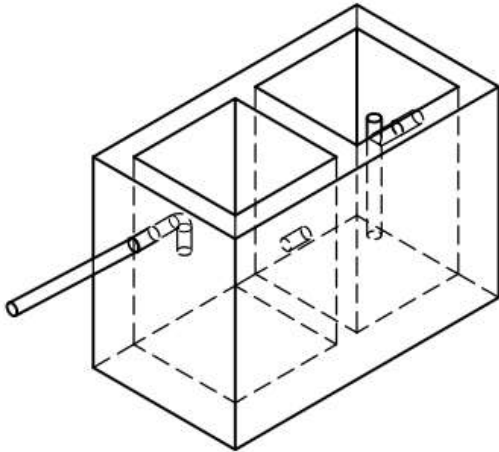
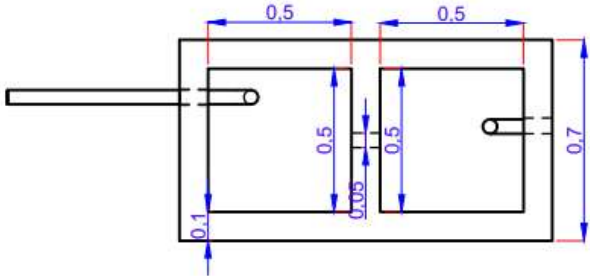
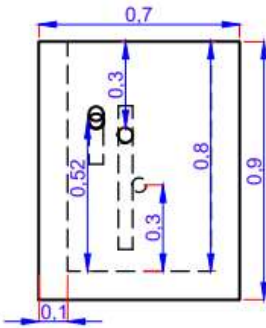
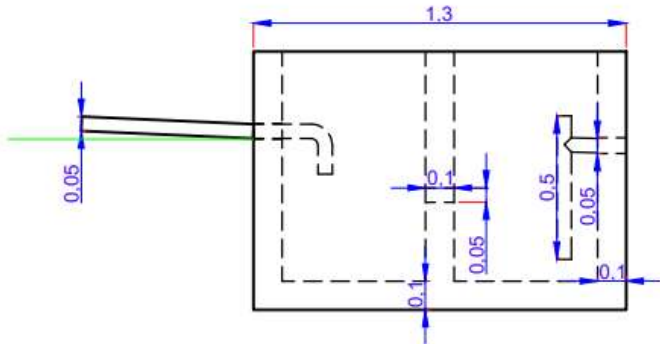
Ladrón de Guevara E11-253, Escuela de Formación de Tecnólogos, Oficina 28. EXT: 2729

Email: pablo.proano@epn.edu.ec

Quito-Ecuador

PLANOS Y ESQUEMAS

1. DISEÑO DE TRAMPA DE GRASAS



2. DISEÑO DEL BIOFILTRO

